

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>**Доопытная оценка влияния угла атаки рабочего органа бороны-мотыги на эффективность воздействия на почву****А.Ю. Несмиян¹, А.Г. Арженовский²✉, М.Ю. Горенков³**^{1,3} Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета; г. Зерноград, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ nesmiyan.andrei@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>² argenowski@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>³ milter1999@mail.ru

Аннотация. Мотыжение почвы – эффективный и универсальный прием, реализуемый практически во всех современных растениеводческих технологиях. Усовершенствование бороны-мотыги экспериментальным путем является дорогостоящим, трудозатратным и долгосрочным процессом, поэтому перспективным является проведение модернизации на основе знания закономерностей функционирования узлов агрегата. Целью исследований является доопытное изучение влияния угла атаки игольчатого рабочего органа на интенсивность его воздействия на почву. Представлена методика, согласно которой рассчитан комплексный критерий крошения почвы в зависимости от угла атаки рабочих органов при значениях 0, 8, 16, 24 и 32 град. Произведенные расчеты позволили предположить, что при усредненных начальных условиях работы борон-мотыг увеличение угла атаки рабочих органов во всем рассматриваемом диапазоне приводит к росту объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около 0,6 см³/град. При этом объем раковины скола, приходящейся на иглу, возрастает на 1,1...2,3 см³/град. при достижении угла атаки 24 град., а при дальнейшем увеличении угла снижается. В целом увеличение угла атаки приводит к уменьшению комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью около 0,1 град.⁻¹, но при этом общая интенсивность воздействия на почву увеличивается с ростом угла атаки до 24 град. Предложенная методика расчета носит примерный характер, но ее применение позволяет выявлять некоторые общие закономерности влияния параметров дискового рабочего органа – таких, как афронтальность, диаметр игл, глубина их проникновения в почву, диаметр рабочего органа и скорость движения агрегата, на показатели его работы для дальнейшего его усовершенствования.

Ключевые слова: мотыжение почвы, усовершенствование бороны-мотыги, доопытная оценка, афронтальность, увеличение угла атаки, объем раковины скола, комплексный критерий крошения почвы

Для цитирования: Несмиян А.Ю., Арженовский А.Г., Горенков М.Ю. Доопытная оценка влияния угла атаки рабочего органа бороны-мотыги на эффективность воздействия на почву // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 19-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>

ORIGINAL ARTICLE

Pre-experimental assessment of the influence of the approach angle of the working element of a harrow-hoe on the efficiency of impact on the soil**A.Yu. Nesmiyan¹, A.G. Arzhenovskiy²✉, M.Yu. Gorenkov³**^{1,3} Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University; Zernograd, Russia² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Russia, Moscow¹ nesmiyan.andrei@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>² argenowski@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>³ milter1999@mail.ru

Abstract. Soil hoeing is an effective and universal technique included in almost all modern crop production technologies. Improving the harrow-hoes is quite labor-intensive, long-term and costly, which indicates the prospects for modernization based on knowledge of the operating patterns of the units under consideration. The research goal is a pre-experimental study of the influence of the approach angle of the needle-type working

element on the intensity of its impact on the soil. The article presents a methodology to calculate the complex factor of soil crumbling depending on the approach angle of working elements at values of 0, 8, 16, 24, and 32 degrees. Based on the calculations carried out the authors assumed that under average initial operating conditions of harrow-hoes, an increase in the approach angle of the working elements leads to an increase in the total trace of the needle movement in the soil with an average intensity of about $0.6 \text{ cm}^3/\text{deg}$. In the meanwhile, the sheared soil shell volume per needle first increases by 1.1 to $2.3 \text{ cm}^3/\text{deg}$, as the approach angle reaches 24 deg., and then decreases with further increase in the angle. In general, an increase in the approach angle leads to a decrease in the complex criterion of soil crumbling by a needle at a speed of about 0.1 deg.^{-1} . At the same time, the overall intensity of the impact on the soil increases to an approximate value of about 24 deg. as the approach angle goes on increasing. The proposed calculation method is approximate in nature, but its application helps identify some general patterns in the influence of the parameters of the disk's working element on the performance indicators. They include afrontality, the diameter of needles, the depth of their penetration into the soil, the working element diameter, the unit speed, etc.

Keywords: soil hoeing, harrow-hoe improvement, pre-experimental evaluation, afrontality, increase in the approach angle, sheared shell volume, integrated soil crumbling criterion

For citation: Nesmiyan A.Yu., Arzhenovsky A.G., Gorenkov M.Yu. Pre-experimental assessment of the influence of the approach angle of the working element of a harrow-hoe on the efficiency of impact on the soil. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):19-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>

Введение

Вопрос выбора того или иного приема обработки почвы всегда стоял перед специалистами аграрной сферы [1-4]. Еще в древние времена проводились и анализ негативных и положительных сторон земледелия, основанного на применении плужной и мотыжной систем обработки почвы¹, и дискуссии по выбору глубокой обработки почвы или системы мелких и поверхностных обработок².

Сегодня этот вопрос по-прежнему стоит остро, хотя земледельцы и пришли к компромиссному решению: выбор системы обработки почвы (вплоть до самых экзотических [5, 6] или полный отказ от них [7]) должны приниматься с учетом агроклиматических и почвенно-ландшафтных условий каждого конкретного хозяйства [8-13]. При этом универсальным приемом, эффективно «вписывающимся» в большинство растениеводческих технологий (в том числе в технологии «no-till» и близкие к ним) [14, 15], является мотыжение поверхности почвы игольчатыми боронами (боронами-мотыгами) [16]. Мотыжение почвы имеет ряд преимуществ: универсальность (можно проводить до и после посева, после появления всходов или зимой для разрушения наста); низкая энергозатратность и высокая производительность агрегатов; борьба с неукоренившимися сорняками; высокая степень

сохранности культурных растений (при послеуборочных обработках); сохранность стерни (в противоэрозионных системах обработки почвы); частичное выравнивание поверхности поля; эффективное «закрытие» почвенной влаги; активизация газообменных процессов в верхнем слое почвы и т.д.

Благодаря отечественным ученым и разработчикам [17-21] в сельскохозяйственное производство внедрены бороны-мотыги для частичной разделки стерни или обработки всходов сельскохозяйственных культур. Разработаны батарейные конструкции с попарной или индивидуальной установкой рабочих органов, с иглами различного профиля и формы и т.д. [22-25]. Но опрометчивым было бы считать, что конструктивно эти орудия исчерпали потенциал развития. Важными направлениями современного этапа их совершенствования можно считать: упрощение и удешевление производства в сочетании с сохранением или повышением надежности и ремонтпригодности; оптимизацию параметров игольчатых рабочих органов, обеспечивающую рост агротехнологических и эксплуатационных характеристик орудия; дальнейшее повышение производительности агрегатов и др. Экспериментальный путь внедрения усовершенствований в производство трудозатратен, продолжителен и к тому же дорогостоящ, поэтому перспективным является проведение модернизации на основе знания закономерностей функционирования рассматриваемых узлов.

Цель исследований: доопытное исследование влияния угла атаки игольчатого рабочего органа на интенсивность его воздействия на почву.

¹ Скорняков С.М. От шумеров наших дней (Очерк истории развития земледелия). М.: Россельхозиздат, 1977. 271 с. URL: <http://agrolib.ru/books/item/f00/s00/z0000039/index.shtml>.

² Халанский В.М. Экскурсия за плугом. М.: Колос, 1974. 207 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007051548>.

Материалы и методы

Сохранность культурных растений или стерни на поверхности поля в значительной степени зависит от объема условного следа, оставляемого иглой за время ее взаимодействия с почвой (обратно пропорциональна ему). В то же время с агротехнической точки зрения игла должна рыхлить как можно больший объем почвы, поэтому для оценки интенсивности работы дискового органа бороны-мотыги предлагается использовать комплексный критерий крошения почвы ($K_{\text{кп}}$), который определяется следующим образом:

$$K_{\text{кп}} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (1)$$

где V_1 – расчетное значение объема условного следа, оставляемого иглой рабочего диска за время ее взаимодействия с почвой (от момента входа в почву до момента выхода из нее за один цикл), м^3 ; V_2 – расчетное значение объема раковины скола (или раковины расклинивания), формируемой иглой рабочего диска за один цикл, м^3 .

В сложившейся теории функционирования борон-мотыг принято считать, что взаимодействие каждой отдельной иглы может быть описано по аналогии с процессом разрушения почвенного пласта плоским вертикальным клином (ПВК)³, совершающим сложное движение.

Традиционно считается, что сила реакции почвы на внедрение ПВК отклоняется от нормали к его исполнительной поверхности на угол, равный углу внешнего трения (σ) данного типа почвы о поверхность ПВК^{3,4}. В то же время отдельные авторы⁵ полагают, что на ориентацию силы воздействия со стороны иглы на почву дополнительное влияние оказывает направление абсолютного перемещения почвенных частиц под углом $\varphi = f(\beta, \sigma)$, обусловленное углами крошения исполнительной поверхности клина и внешним трением почвы (рис. 1). Опытным путем было установлено, что это предположе-

ние справедливо, но не принципиально, поскольку продольный сдвиг частиц почвы иглами пренебрежимо мал^{6,7,8}.

В вертикальной плоскости, проходящей через линию действия суммарной силы F (рис. 1), разрушение почвенного пласта ПВК происходит в соответствии с теорией Кулона-Мора^{9,10,11}, при этом грани раковины скола почвы имеют сложную форму с двумя характерными участками (рис. 2а). В соответствии с исследованием А.А. Конищева⁸ в зоне действия иглы линия расклинивания почвы (рис. 2а) описывается зависимостью логарифмической спирали вида:

$$r_{\text{гп}} = s \cdot e^{\Omega \cdot \text{tg} \psi}, \quad (2)$$

где s – текущее значение глубины погружения иглы в почву, м; Ω – угловая координата, рад; ψ – значение угла внутреннего трения частиц почвы, град.

Во второй части раковины нижние линии скола, формирующие лунку, имеют примерно прямолинейную форму и ориентированы к горизонту под углом ε (рис. 2), который определяется через угол внутреннего трения частиц почвы $\varepsilon = (0,5\pi - \psi)/2$.

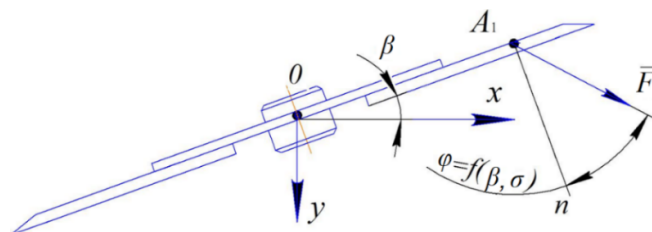


Рис. 1. Схема (в плане) воздействия иглы рабочего органа бороны-мотыги на почву

Fig. 1. Schematic view of the impact of the harrow-hoe needle on the soil

³ Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁴ Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.; Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁵ Путрин А.С. Обоснование основных конструктивных параметров и режимов работы игольчатых ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин: Дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 1986. 252 с. EDN: NPLAGJ.

⁶ Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁷ Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

⁸ Карпуша П.П., Даценко Н.В. Анализ работы ротационных игольчатых дисков // Тракторы и сельхозмашины. 1966. № 7. С. 30-32.

⁹ Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

¹⁰ Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

¹¹ Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. Т. I. М.: Колос, 1968. 525 с.

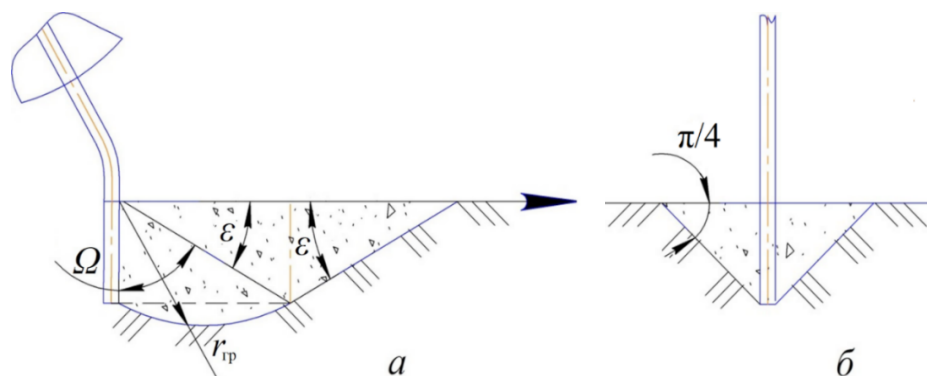


Рис. 2. Теоретические контуры раковины скола почвы иглой в ее продольно-вертикальной (а) и поперечно-вертикальной (б) плоскостях действия на почву

Fig. 2. Theoretical contours of a sheared soil shell cavity with a needle in the longitudinal-vertical plane of the needle contact with the soil (a) and in the transverse-vertical plane of the needle contact with the soil (b)

В соответствии с теорией работы ПВК считается^{12,13,14}, что в вертикальной плоскости (рис. 2б), расположенной нормально горизонтальной составляющей действия иглы на почвенный пласт, его разрушение происходит примерно по прямым линиям, ориентированным к горизонтали под углом около $0,25\pi$. Рассмотрим процесс взаимодействия игл дисковых рабочих органов различного расположения с почвой на основании выявленных элементов теории.

Траекторию движения периферийной точки рабочей части иглы (далее – жало иглы) при работе плоского диска, установленного сонаправленно движению агрегата (рис. 3), то есть при угле атаки $\beta = 0^\circ$, в приближении можно считать циклоидой с показателем кинематического режима около единицы ($\lambda \approx 1$). В этом случае координаты жала иглы могут быть описаны системой уравнений (3):

$$\begin{cases} x(t) = v_a t + R_{\text{дро}} \cdot \cos \omega t; \\ y(t) = 0; \\ z(t) = R_{\text{дро}} (1 - \sin \omega t) - s_n, \end{cases} \quad (3)$$

где v_a – рабочая скорость почвообрабатывающего агрегата, м/с; $R_{\text{дро}}$ – радиус дискового рабочего органа, м; ω – угловая скорость дискового рабочего органа, рад/с; s_n – предполагаемая глубина рыхления почвы, м.

¹² Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

¹³ Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

¹⁴ Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. Т. I. М.: Колос, 1968. 525 с.

При таком движении игла совершает в почве очень ограниченные горизонтальные перемещения, практически не приводящие к ее продольным сколам¹⁵, основное разрушение идет по характерным поперечным линиям (рис. 2б), что приводит к формированию лунок определенной формы (рис. 3). При выглублении иглы ее передняя часть воздействует на почву, сминая ее, из-за чего выходная нижняя часть грани лунки направлена практически по прямой, ориентированной к вертикали под углом около 35° ($\mu \approx 35^\circ$). На основании изложенного траекторию дна раковины скола в продольно-вертикальной плоскости можно представить в виде совокупности циклоиды (от момента (t_1) входа жала иглы в почву до момента (t_2) максимального ее погружения) и прямой (на участке выглубления иглы). Таким образом, для рассматриваемого случая объем траектории внутрипочвенного движения иглы определяется выражением:

$$V_{\text{ф}} = \left(- \int_{t_1}^{t_2} (R_{\text{дро}} (1 - \sin \omega t) - s_n) dt + \int_0^{t_1 - t_1} \left(s_n - \frac{v_a t}{\text{tg} \mu} \right) dt \right) \cdot t_n, \quad (4)$$

где $V_{\text{ф}}$ – расчетное значение объема следа, оставляемого иглой рабочего диска в почве при фронтальном расположении дисков ($\beta = 0^\circ$), м³; t_n – толщина (диаметр) иглы, м.

Момент входа жала иглы в почву –

$$t_1 = \omega^{-1} \arcsin \left(1 - \frac{s_n}{R_{\text{дро}}} \right). \quad (5)$$

Момент максимального заглубления иглы –

$$t_2 = \frac{\pi}{2\omega}. \quad (6)$$

¹⁵ Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

С учетом (4) объем раковины крошения слоя почвы для рассматриваемого случая ($V_{2ф}$):

$$V_{2ф} = \int_{t_1}^{t_2} (R_{дро} (1 - \sin \omega t) - s_n)^2 dt + \int_0^{t_2-t_1} \left(s_n - \frac{v_a t}{\operatorname{tg} \mu} \right)^2 dt. \quad (7)$$

Зависимости (4)-(7) позволяют произвести расчет критерия интенсивности крошения почвы для фронтально расположенных дисковых рабочих органов бороны мотыги ($K_{икпф}$). Такое расположение является частным случаем ориентации дисков относительно направления движения агрегата. Тем не менее при работе афронтальных игольчатых дисков ($\beta \neq 0^\circ$) прослеживается особенность: траекторией движения жала иглы является циклоида с показателем кинематического режима 0,6...0,9, причем меньшие значения λ наблюдаются при больших углах атаки (до $40...45^\circ$). Такая взаимосвязь обусловлена эффектом проскальзывания косо поставленного игольчатого рабочего органа относительно поверхности почвы¹⁶.

При афронтальном расположении диска (рис. 4) координаты жала иглы описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} x(t) = v_a t + R_{дро} \cdot \cos \omega_\beta t \cos \beta; \\ y(t) = -R_{дро} \cdot \cos \omega_\beta t \sin \beta; \\ z(t) = R_{дро} (1 - \sin \omega_\beta t) - s_n, \end{cases} \quad (8)$$

где ω_β – угловая скорость афронтального игольчатого диска (с учетом проскальзывания), рад/с.

Чтобы в данном случае определить суммарный объем следа внутрипочвенного движения иглы, примем допущение (рис. 5), что в момент входа жала иглы в почву (t_1) ось ее стержня сдвинута по фазе от горизонтального положения на угол $\omega_\beta t_1 - \gamma_1$, а ось рабочей части – на угол $\omega_\beta t_1 - \gamma_1 + \gamma_2$ (где γ_1 и γ_2 – углы, определяющие геометрию иглы и ее расположение на диске, град. (рис. 5)). С учетом этого определим продольно-горизонтальную координату x_D точки D пересечения иглы с поверхностью почвы (условная горизонталь):

$$x_D(t) = l \cos(\omega_\beta t - \gamma_1) + (R_{дро} - s_n - l \sin(\omega_\beta t - \gamma_1)) \operatorname{ctg}(\omega_\beta t - \gamma_1 + \gamma_2), \quad (9)$$

где l – расстояние от центра диска до точкигиба зуба, м (рис. 5).

Тогда примерное значение объема следа движения иглы в почве –

$$V_{1a} = \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \sqrt{(x(t) - x_D(t))^2 + s(t)^2} dt \cdot t_n, \quad (10)$$

где x – продольно-горизонтальная координата жала иглы, м; s – текущее значение глубины погружения иглы в почву (вертикальная координата жала иглы, $s = -z$), м.

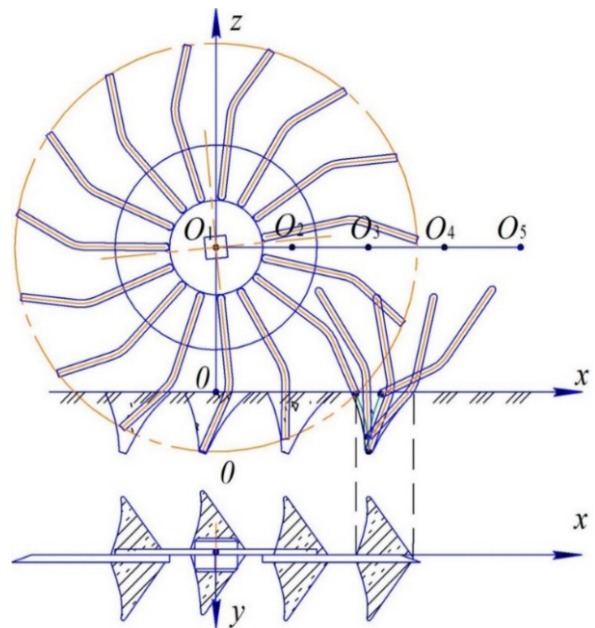


Рис. 3. Схема взаимодействия с почвой игл дискового рабочего органа при нулевом угле атаки

Fig. 3. Scheme of interaction of the needles of a disk-type working element with the soil at a zero approach angle

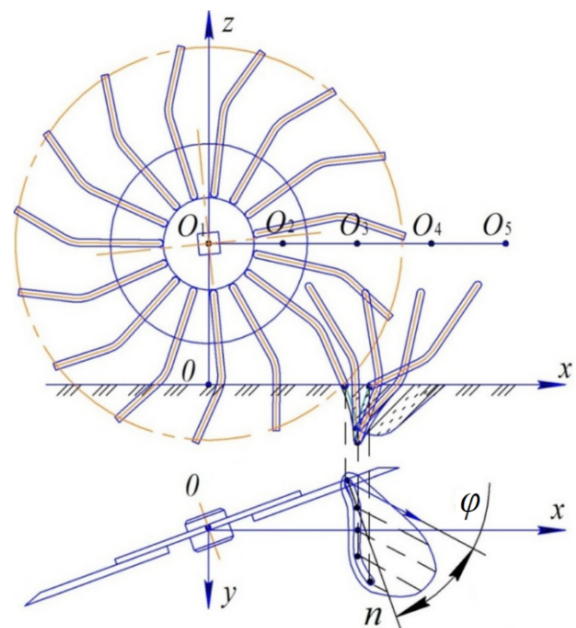


Рис. 4. Схема крошения почвы афронтальным игольчатым диском

Fig. 4. Scheme of soil crumbling with a frontal needle disk

¹⁶ Костин В.Д., Сапаров О.О. О работе бороны игольчатой БИГ-3 // Механизация полеводства в Северном Казахстане. Целиноград: Издательство Целиноградского СХИ, 1972. С. 8.

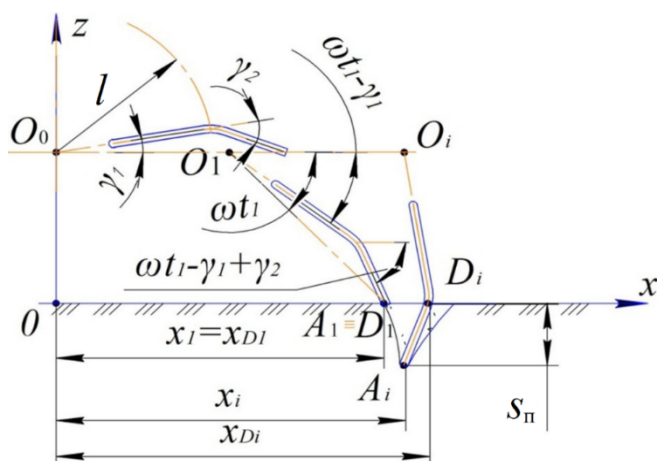


Рис. 5. Схема перемещения иглы и ее угловые параметры

Fig. 5. Pattern of the needle movement and angular parameters of the needle

Примерное значение объема раковины скола почвы иглой афронтально расположенного дискового рабочего органа с учетом выражений (2), (5)-(7), а также рисунков 2 и 4 может быть выражено зависимостью:

$$V_{2a} \approx \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \int_0^{\frac{\pi-\psi}{2}} \sqrt{(-s(t)e^{\Omega \cdot \tan \psi})^2 (1 - (\sin \Omega)^2)} dt d\Omega + \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \frac{s(t)^3}{\tan(0,25\pi - 0,5\psi)} dt, \quad (11)$$

где t_1 и t_2 – характерные временные параметры (сек.), рассчитанные с учетом угловой скорости рабочего диска ω_p .

Результаты и их обсуждение

Результаты теоретических расчетов, проведенных при начальных условиях $R_{\text{дро}} = 0,275$ м, $t_{\text{и}} = 0,012$ м, $s_{\text{п}} = 0,07$ м и $v_a \approx 4,1$ м/с, $\psi \approx 27$ град., представлены в таблице.

Результаты теоретической оценки влияния угла установки дискового рабочего органа на комплексный критерий крошения почвы

Results of theoretical assessment of the influence of the installation angle of the disk working element on the soil crumbling intensity factor

Угол установки диска, град. <i>Angle of the disk installation, degrees</i>	Показатель кинематического режима <i>Kinematic mode indicator</i>	Объем следа зуба, м ³ <i>Volume of tooth trace, m³</i>	Объем одной лунки, м ³ <i>Volume of one hole, m³</i>	Комплексный критерий крошения почвы <i>Factor of soil crumbling intensity</i>
0	1,00	$1,418 \cdot 10^{-5}$	$6,838 \cdot 10^{-5}$	4,82
8	0,95	$6,020 \cdot 10^{-5}$	$2,558 \cdot 10^{-4}$	4,25
16	0,90	$1,192 \cdot 10^{-4}$	$3,866 \cdot 10^{-4}$	3,24
24	0,85	$1,759 \cdot 10^{-4}$	$4,270 \cdot 10^{-4}$	2,43
32	0,80	$2,293 \cdot 10^{-4}$	$3,983 \cdot 10^{-4}$	1,74

Таблица

Table

Полученные результаты носят теоретический характер и не могут рассматриваться как количественная оценка, особенно при определении объема раковины скола, зависящей не только от достоверности принятых теоретических предпосылок, но и от сочетания совокупности физико-механических свойств самой почвы, совместности действия игл, режимов работы агрегата и др. Однако результаты расчетов позволяют сделать выводы о влиянии афронтальности дискового рабочего органа на интенсивность крошения почвы. При увеличении угла атаки можно выделить следующие закономерности:

– рост объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около $0,5 \dots 0,7$ см³/град.;

– увеличение объема раковины скола (приходящейся на одну иглу), причем до $22 \dots 26$ град. происходит постепенное его увеличение, а при дальнейшем увеличении угла – снижение объема, что может быть связано как с возрастающим влиянием проскальзывания диска, так и с изменением направления действия силы, действующей со стороны иглы на почву;

– объем раковины скола возрастает с интенсивностью $2,3$ см³/град. при переходе от фронтального расположения диска к афронтальному (угол до 8 град.), при угле от 8 до 24 град. скорость изменений снижается до $1,1$ см³/град.;

– уменьшение комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью около $0,1$ град.⁻¹. Но это не говорит о перспективности применения фронтальных борон-мотыг, так как у них значительно меньше общая интенсивность обработки почвы.

Усовершенствование бороны-мотыги возможно за счет более эффективной работы игольчатых рабочих дисков, с учетом афронтальности, диаметра

и геометрии игл, глубины проникновения игл в почву, диаметра дискового рабочего органа, скорости движения агрегата и др.

Выводы

Расчетным путем установлено, что увеличение угла атаки игольчатых рабочих органов приводит к росту объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около $0,6 \text{ см}^3/\text{град.}$ (при заданных начальных условиях). При переходе от фронтального расположения диска к афронтальному объем раковины скола, приходящийся на иглу, сначала возрастает с интенсивностью около $2,3 \text{ см}^3/\text{град.}$, при увеличении угла от 8

до 24 град. – с интенсивностью порядка $1,1 \text{ см}^3/\text{град.}$, а при дальнейшем увеличении угла снижается. Увеличение угла атаки приводит к уменьшению комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью $0,1 \text{ град.}^{-1}$.

Предложенная методика расчетов носит примерный характер, так как в ней не учитываются эмпирически определяемые нюансы. Но ее применение позволяет выявлять общие закономерности влияния параметров дискового рабочего органа (афронтальность, диаметр (толщина) игл, глубина проникновения игл в почву, диаметр дискового рабочего органа, геометрия игл, скорость движения агрегата) на показатели его работы.

Список источников

1. Бельтюков Л.П., Несмиян А.Ю., Хижняк В.И., Бершанский Р.Г., Донцов В.Г. Оценка эффективности технологий возделывания подсолнечника в аридных условиях Ростовской области // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 4 (24). С. 66-72. EDN: SMSYIT
2. Борисенко И.Б., Плещакёв Ю.Н., Борисенко П.И., Грабов Р.С. Термины как философия, определяющая инновационные технологии обработки почвы // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 16-21. EDN: TZZQXQ
3. Кирюшин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // Земледелие. 2015. № 6. С. 6-10. EDN: UGTHLB
4. Дорохов А.С., Старостин И.А., Чилингарян Н.О. Развитие сельскохозяйственной техники: от первых орудий труда к интеллектуальным машинам и технологиям // История науки и техники. 2019. № 12. С. 70-74. EDN: SECXNT
5. Многофункциональный агрегат для обработки почвы ультразвуком: Патент RU2757624 C1, МПК A01B13/00 C1 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, С.И. Старовойтов, Б.Х. Ахалай, С.А. Давыдова; заявл. 17.03.2021. № 2021106907; опубл. 19.10.2021. EDN: MEDFIS
6. Устройство для обработки почвы пульсирующим сжатым воздухом: Патент RU190264 U1, МПК A01B49/00 U1 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, С.И. Старовойтов, Б.Х. Ахалай, Ю.С. Ценч; заявл. 05.03.2019. № 2019106253; опубл. 25.06.2019. EDN: SSKGIC
7. Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф., Рогожин Д.О., Ефимов О.Е. Изменение показателей состояния органического вещества и физических свойств чернозема южного при переходе от традиционной к нулевой обработке // Земледелие. 2018. № 8. С. 14-16. EDN: YTZGSL. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10804
8. Несмиян А.Ю., Галай А.Г. Влияние системы обработки почвы на эффективность технологий возделывания кукурузы // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 3 (31). С. 5-12. EDN: VKDJIN
9. Несмиян А.Ю., Бельтюков Л.П., Хижняк В.И. Эффективность машинных технологий возделывания подсолнечника на юге России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 5. С. 35-38. EDN: REQASK
10. Лобачевский Я.П., Алдошин Н.В. Технология и технические средства для реализации методов воспроизводства плодородия почвы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 2. С. 40-46. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46>

References

1. Beltyukov L.P., Nesmiyan A.Yu., Khizhnyak V.I., Bershanskiy R.G., Dontsov V.G. Effectiveness evaluation of sunflower cultivation technology in arid conditions of Rostov region. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2013;4:66-72. (In Russ.).
2. Borisenko I.B., Pleskachev Yu.N., Borisenko P.I., Grabov R.S. Terms as a philosophy defining innovative soil cultivation techniques. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2015;2:16-21. (In Russ.).
3. Kiryushin V.I. Technological modernization of agriculture in Russia: prerequisites and conditions. *Zemledelie*. 2015;6:6-10. (In Russ.).
4. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Chilingaryan N.O. The development of agricultural machinery: from the first implements to intelligent machines and technologies. *Istoriya Nauki i Tekhniki = History of Science and Engineering*. 2019;12:70-74. (In Russ.).
5. Izmailov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Dorokhov A.S., Starovoitov S.I., Akhalaia B.Kh., Davydova S.A. Multifunctional unit for ultrasonic soil treatment: patent No. 2757624 Russian Federation, IPC A01B13/00 C1. Applied on March 17, 2021. No. 2021106907, published on October 19, 2021. (In Russ.).
6. Izmailov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Dorokhov A.S., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Device for soil treatment with pulsating compressed air: patent No. 190264 Russian Federation, IPC A01B49/00 U1. Applied on March 05, 2019. No. 2019106253; published on June 26, 2019. (In Russ.).
7. Borisov B.A., Baybekov R.F., Rogozhin D.O., Efimov O.E. Changes in indicators of organic matter state and physical properties of southern chernozem during the transition from traditional to zero treatment. *Zemledelie*. 2018;8:14-16. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10804>
8. Nesmiyan A.Yu., Galayan A.G. Influence of the soil cultivation system on the efficiency of corn growing technologies. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2015;3:5-12. (In Russ.).
9. Nesmiyan A.Yu., Bel'tyukov L.P., Khizhnyak V.I. The efficiency of mechanical technologies of cultivation of the sunflower in terms of the south of the Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2014;5:35-39. (In Russ.).
10. Lobachevskiy Y.P., Aldoshin N.V. Technology and technical means for the implementation of reproduction methods for soil fertility. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024;18(2):40-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46>
11. Rykov V.B., Kambulov S.I., Shevchenko N.V., Kambulov I.A., Ridnyi S.D. Efficiency of winter wheat production under different primary soil cultivation technologies. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2015;2:53-56. (In Russ.).

11. Рыков В.Б., Камбулов С.И., Шевченко Н.В., Камбулов И.А., Ридный С.Д. Эффективность производства озимой пшеницы при различных технологиях основной обработки почвы // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 53-56. EDN: TZZQTZ
12. Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Пазова Т.Х., Гергокаев Д.А., Сенов Х.М., Шекихачева Л.З., Медовник А.Н., Твердохлебов С.А. Оценка эффективности технических средств для противоэрозионной обработки почвы в Кабардино-Балкарской Республике // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 97. С. 482-494. EDN: SDCDOJ
13. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. № 12. С. 46-55. EDN: RJSVZT
14. Кулик К.Н., Дубенок Н.Н. Пыльные бури на Нижней Волге весной 2015 года // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 1. С. 4-7. EDN: VZSVZT
15. Бондаренко А.М., Несмиян А.Ю., Качанова Л.С., Кормилцев Ю.Г. Основы системной технологии восстановления почвенного плодородия с использованием незерновой части урожая и сидеральных культур // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 3 (47). С. 29-34. EDN: VQCBNN
16. Еременко Я.В., Несмиян А.Ю., Кулаков А.К., Асатурян С.В. Сравнительный анализ потребительских характеристик игольчатых и зубовых борон // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 8-12. EDN: YXNLUW
17. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Перов Г.А., Сизов И.В. Исследование работы игольчатой бороны с радиально установленными иглами на дисках // Техника и оборудование для села. 2019. № 10 (268). С. 14-18. EDN: RBBVHL
18. Хайлис Г.А., Ковалёв М.М., Кондрашов В.А., Шевчук В.В., Толстухко Н.Н. Определение сил, действующих на иглы игольчатой бороны // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 60-65. EDN: LBVCGW
19. Шмидт А.Н. Влияние угла атаки на геометрическую форму лунки при работе игольчатого диска // Актуальные направления развития аграрной науки: Сборник научных статей, посвященный 50-летию селекционного центра ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: ИП Макшеева Е.А., 2020. С. 512-517. EDN: NGEWTA
20. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Перов Г.А. Определение движущей силы игольчатой бороны при ее работе на полях с уклоном // Техника и оборудование для села. 2019. № 7 (265). С. 10-13. EDN: WLVOQA
21. Кем А.А., Шевченко А.П., Бегунов М.А., Коваль В.С. Экспериментальные исследования взаимодействия рабочих органов игольчатого диска с растительными остатками // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (33). С. 134-141. EDN: ZEEQAX
22. Еременко Я.В., Несмиян А.Ю., Кулаков А.К., Черемисин Ю.М. Совершенствование конструкции рабочего органа игольчатой бороны-мотыги // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 223-231. EDN: WQFQPS
23. Нелюбина И.А. Особенности работы усовершенствованного ротационного игольчатого рабочего органа бороны // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 1. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 245-248. EDN: IHZVCV
24. Колебательная игольчатая борона-мотыга: Патент RU218756 U1, МПК A01B21/04 U1 / С.С. Калаев, В.С. Петрина, 12. Shekikhachev Yu.A., Hazhmetov L.M., Pazova T.H., Ger-gokaev D.A., Senov H.M., Shekikhacheva L.Z., Medovnik A.N., Tverdokhlebov S.A. Estimation of the efficiency of means for antierosion processing of soil in the Kabardino-Balkarian Republic. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;97:482-494. (In Russ.)
13. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production. *Istoriya Nauki i Tekhniki = History of Science and Engineering*. 2019;12:46-55. (In Russ.)
14. Kulik K.N., Dubenok N.N. Dust storms at the low Volga in spring of 2015. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2016;1:4-7. (In Russ.)
15. Bondarenko A.M., Nesmiyan A.Yu., Kachanova L.S., Kormiltsev Yu.G. Fundamentals of a systemic technology for restoring soil fertility using the non-grain part of the crop and green manure crops. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019;3:29-34. (In Russ.)
16. Eremenko Ya.V., Nesmiyan A.Yu., Kulakov A.K., Asaturyan S.V. Comparative analysis of consumer characteristics of needle and tooth harrows. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2018;2:8-12. (In Russ.)
17. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Perov G.A., Sizov I.V. Study of the operation of a soil spiker with radially mounted spikes on the discs. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;10:14-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-10-14-18>
18. Hailis G., Kovalev M., Kondrashov V., Shevchuk V., Tolstushko N. Determination of forces acting on the needle harrows. *Science in the Central Russia*. 2019;2:60-65. (In Russ.)
19. Schmidt A.N. Influence of the approach angle on the geometric shape of the hole during the operation of a needle disk. *Current Trends in the Development of Agricultural Science: Collection of articles dedicated to the 50th anniversary of the breeding center of the FSBRI "Omsk Scientific Center"*. Omsk, IP Maksheeva E.A. 2020. Pp. 512-517. (In Russ.)
20. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Perov G.A. Determination of the driving force of a soil spiker when operating on sloped fields. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;7:10-13. (In Russ.). <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-7-10-13>
21. Kem A.A., Shevchenko A.P., Begunov M.A., Koval' V.S. Pilot study of interaction between working bodies of wheel spider with vegetable residues. *Vestnik Omskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2019;1:134-141. (In Russ.)
22. Eremenko Ya.V., Nesmiyan A.Yu., Kulakov A.K., Cheremisin Yu.M. Improving the design of the working tool of a needle harrow-hoe. *Innovatsii v Selskom Khozyaystve = Innovations in Agriculture*. 2017;1:223-231. (In Russ.)
23. Nelyubina I.A. Features of the improved rotary needle working body of the harrow. *Innovative Trends in the Development of Russian Science: Proceedings of the XIV International scientific and practical conference of young scientists*. Krasnoyarsk, 2021. Pp. 245-248. (In Russ.)
24. Kalaev S.S., Petrina V.S., Kisiev S.K., Timurziev B.M. Swing needle-type harrow-hoe: Patent No. 218756 Russian Federation, IPC A01B21/04. Claimed on March 13, 2023, No. 2023105766; published on June 08, 2023, Bulletin No. 16. (In Russ.)
25. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Sizov I.V., Perov G.A. On the rational arrangement of disks on the axes of a needle harrow. *Scientific Support for the Production of Spinning Crops: Status, Problems and Prospects: Collection of research papers*. Tver, 2018. Pp. 234-237. (In Russ.)

С.К. Кисиев, Б.М. Тимурзиев; заявл. 13.03.2023. № 2023105766; опубл. 08.06.2023; Бюл. № 16. EDN: INPWJW

25. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Сизов И.В., Перов Г.А. О рациональном расположении дисков на осях игольчатой бороны // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. Тверь, 2018. С. 234-237. EDN: YXREZN

Информация об авторах

Андрей Юрьевич Несмиян¹, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса»; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; nesmiyan.andrei@yandex.ru

Алексей Григорьевич Арженовский^{2,3}, д-р техн. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; argenowski@mail.ru

Максим Юрьевич Горенков³, магистрант; milter1999@mail.ru
^{1,2,3} Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ; 347740, Российская Федерация, г. Зерноград Ростовской области, ул. Ленина, 21

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

А.Ю. Несмиян – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, постановка задачи исследования, критический анализ полученных результатов, редактирование выводов.

А.Г. Арженовский – анализ литературных источников, получение аналитических зависимостей для проведения расчетов, подготовка первоначального варианта текста, формирование частных и общих выводов.

М.Ю. Горенков – литературный анализ данных, проведение расчетов, формирование частных и общих выводов.

Статья поступила в редакцию 06.09.2024; поступила после рецензирования и доработки 08.10.2024; принята к публикации 09.10.2024

Author Information

Andrey Yu. Nesmiyan¹, DSc (Eng), Professor of the Department “Technologies and Means of Farm Mechanization”; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>, nesmiyan.andrei@yandex.ru

Aleksei G. Arzhenovsky^{2,3}, DSc (Eng), <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; argenowski@mail.ru

Maksim Yu. Gorenkov³, MSc student; milter1999@mail.ru
^{1,2,3} Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University; Lenina Str., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russia

Author Contribution

Andrey Yu. Nesmiyan – research supervision, conceptualization, setting the research problem, critical analysis of the obtained results, editing of conclusions.

Aleksei G. Arzhenovsky – literature review, calculations and data curation, writing – original draft preparation, general and specific conclusions.

Maksim Yu. Gorenkov – literature review, calculations and data curation, general and specific conclusions.

Received 06.09.2024; Revised 08.10.2024; Accepted 09.10.2024.