

# ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИГОЛЬЧАТОГО ДИСКА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

## JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODES OF THE NEEDLE DISK OF A NEW DESIGN

**А.Н. ШМИДТ<sup>1</sup>**  
**А.А. КЕМ<sup>1</sup>**, к.т.н.  
**М.С. ЧЕКУСОВ<sup>1</sup>**  
**Д.Е. КУЗЬМИН<sup>2</sup>**  
**А.С. СОЮНОВ<sup>2</sup>**, к.т.н.

<sup>1</sup> ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Омск, Россия,

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, Россия, aa.kem@omgau.org

**A.N. SHMIDT<sup>1</sup>**  
**A.A. KEM<sup>1</sup>**, PhD in Engineering  
**M.S. CHEKUSOV<sup>1</sup>**  
**D.E. KUZ'MIN<sup>2</sup>**  
**A.S. SOYUNOV<sup>2</sup>**, PhD in Engineering

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Scientific Center", Omsk, Russia

<sup>2</sup> Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia, aa.kem@omgau.org

Сохранение и накопление продуктивной почвенной влаги в зонах с недостаточным увлажнением и подверженных ветровой эрозии не теряет своей актуальности. Известные дисковые игольчатые рабочие органы ротационных борон, предназначенные для поверхностной обработки по стерновым фонам, в большей мере направлены на рыхление верхнего почвенного пласта. Неправильно выбранный режим использования существующих игольчатых борон опасен чрезмерным распылением и иссушением поверхности плодородной почвы. В связи с этим предложено новое техническое решение игольчатого диска с изменяющейся формой игл, позволяющее рыхлить верхний слой почвы с выполнением лунок на поверхности поля. Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками состоит из ступицы с закрепленными на ней иглами, причем диск установлен афронтально, каждая игла выполнена изменяющейся формы, первая половина от основания иглы выполнена квадратной формы, вторая половина – пирамидальной формы с вершиной на конце иглы. Использование таких игольчатых дисков с иглами, которые легче проникают в почву, позволяет эффективно измельчать пожнивные остатки и рыхлить почву, что повышает качество обработки почвы. Проведенные испытания нового игольчатого диска по фону многолетних трав позволили обосновать основные режимные показатели нового рабочего органа. Для супесчаной почвы твердостью 14,5 кПа с агрофоном многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна, установлено, что максимальный параметр для влагонакопления будет достигнут при скорости в 7 км/ч с углом атаки, равным 0°, а рыхления при скорости 9 км/ч с углом атаки в 16°. Рациональными параметрами, при которых происходит не только накопление влаги, но и качественная обработка почвы, являются угол атаки, равной 4° и скорость движения агрегата – 7 км/ч.

**Ключевые слова:** игольчатый диск, рабочий орган, почва, борона, угол атаки, влага, лунки.

The preservation and accumulation of productive soil moisture in areas with insufficient moisture and subject to wind erosion does not lose its relevance. Known disc needle-like working bodies of rotary harrows, intended for surface treatment on stubble backgrounds, are mainly aimed at loosening the upper soil layer. An incorrectly selected mode of using existing needle harrows is dangerous by excessive spraying and drying out of the surface of fertile soil. In this regard, there was proposed a new technical solution for a needle disk with a changing shape of needles, which makes it possible to loosen the top layer of soil from making holes on the surface of the field. A tillage tool with needle discs consists of a hub with needles fixed on it. The disc is installed afrontal, each needle is made of a variable shape, the first half made from the base of the needle is square, and the second half is pyramidal with a top at the end of the needle. The use of such needle discs with needles, which more easily penetrate the soil make it possible to efficiently chop up crop residues and loosen the soil, which improves the quality of soil cultivation. The tests of the new needle disk against the background of perennial grasses made it possible to substantiate the main operating parameters of the new working body. For sandy loam soil with a hardness of 14,5 kPa with an agrophone of perennial grasses, such as awnless rump and alfalfa, it was found that the maximum parameter for moisture accumulation will be achieved at a speed of 7 km / h with an angle of attack equal to 0°, and loosening at a speed of 9 km/h with an angle of attack of 16°. A rational parameter, at which not only moisture accumulation occurs, but also high-quality soil cultivation, is achieved when the angle of attack is set to 4° and the speed of the unit is 7 km/h.

**Keywords:** needle disc, working body, soil, harrow, angle of attack, moisture, holes.

## Введение

Эрозионным процессам подвержена большая часть обрабатываемой земли Омской области, что в свою очередь оказывает непосредственное влияние на количество собранного зерна. На протяжении последних нескольких лет, средняя урожайность по Омской области не превышает 16 ц/га. Так, например, в трех самых южных районах, расположенных в степной зоне, где содержание гумуса достигает 4 %, а количество осадков – 250–300 мм. в год, средняя урожайность составила 12,9 ц/га. Существенным методом, оказывающим влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, является увеличение накопления продуктивной влаги за осенне-весенний период [1, 2]. Проведение уборочных работ сопровождается переуплотнением поверхностного слоя, что усложняет проникновение влаги. В ранне-весенний период, после обильного снеготаяния, почвенная корка напротив, высыхая и растрескиваясь, увеличивает испарение влаги и приводит к снижению урожайности.

Существующие известные орудия с дисковыми и игольчатыми рабочими органами для осеннего рыхления и ранневесеннего боронования почв не в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым к обработке, особенно в зонах, подверженных ветровой эрозии. Зачастую неправильно подобранный режим работы игольчатой бороны оказывается малопродуктивным. Так, например, несоответствие угла атаки и выбора режима (активный, пассивный) по направлению движения игольчатого диска ведет к снижению качественных показателей. Превышение рабочей скорости агрегата, по сравнению с агротехническими требованиями, в весенний период приводит к иссушению и чрезмерному распылению верхнего слоя почвы.

В связи с этим разработка новых конструкций орудий с игольчатыми дисками, определение параметров и режимов их работы для улучшения качественных показателей весенне-осенней обработки почв является актуальной [3, 4].

## Цель исследований

Повышение эффективности влагонакопления и поверхностной обработки почвы путем обоснования параметров и режимов работы дискового игольчатого рабочего органа.

## Материалы и методы

Для определения режимов работы игольчатого диска был изготовлен экспериментальный образец дисковой бороны и проведены испытания в Черлакском районе Омской области на супесчаной почве по фонам многолетних трав. При выполнении практических исследований применялся метод композиционного планирования эксперимента [6]. В качестве оптимизируемой величины были приняты: для оценки влагонакопления – объем лунок на 1 м<sup>2</sup>; для оценки рыхления почвенного пласта – отношение площади обработанной поверхности на квадратном метре.

## Результаты и обсуждение

Качество обработки почвы дисковыми орудиями зависит от множества факторов, из которых основными являются: установка рабочего органа под углом атаки относительно прямолинейного движения трактора и скорость движения агрегата. Угол атаки влияет на качество рыхления почвы и ширину захвата орудия, при его увеличении наблюдается лучшее рыхление почвенного пласта [5]. При малых углах атаки и большой скорости происходит процесс выполнения лунок в почве, что способствует влагонакоплению.

На основании выполненного анализа существующих технических решений и предыдущих исследований для повышения качества обработки почвы в эрозионно-опасных зонах было предложено новое техническое решение и получен патент на полезную модель «Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками» [7].

Игольчатый рабочий орган почвообрабатывающего орудия (рис. 1, а) предназначен, для поверхностной обработки почвы, разрушения уплотненной почвенной корки, выполнения лунок на поверхности поля с целью увеличения влагонакопления. Игольчатый диск состоит из ступицы 1 с закрепленными на ней иглами 2. Каждая игла выполнена изменяющейся формы, первая часть иглы от основания выполнена квадратной формы, вторая половина – пирамидальной формы с вершиной на конце иглы.

Рабочий орган почвообрабатывающего орудия работает следующим образом. В начале движения агрегата по полю машинист-тракторист переводит рабочий орган

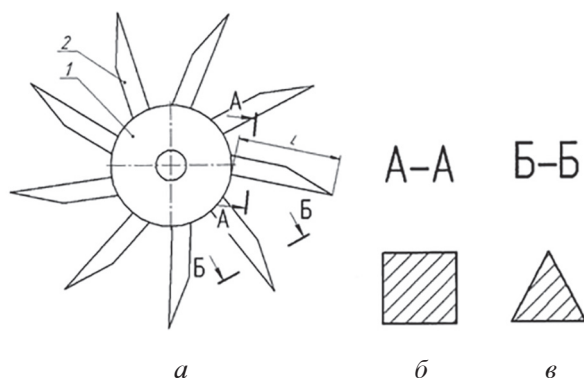


Рис. 1. Экспериментальный игольчатый диск (а):  
б – сечение А–А; в – сечение Б–Б

почвообрабатывающего орудия в рабочее положение. Рабочие органы почвообрабатывающего орудия под действием веса заглубляются в почву до заданного значения глубины, выставленного при помощи опорных колес.

Игольчатый диск почвообрабатывающего орудия может использоваться в активном или пассивном режиме. Применения активного режима осуществляется на тяжелых почвах. При использовании рабочего органа почвообрабатывающего орудия в активном режиме он устанавливается таким образом, что вращение происходит по ходу часовой стрелки. Глубину обработки почвы ограничивают до  $\frac{3}{4}$  длины иглы, чтобы работали все грани иглы.

Для определения оптимальных показателей режимов работы игольчатого диска [7] были изготовлены экспериментальные образцы и проведены испытания в Черлакском районе Омской области на супесчаной почве твердостью 14,5 кПа (рис. 2), по фону многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна (рис. 3).

При выполнении практических исследований применялся метод композиционного планирования эксперимента [6]. В качестве оптимизируемой величины были приняты: для оценки влагонакопления – объем лунок на 1 м<sup>2</sup>; для оценки рыхления почвенного пласта – отношение площади обработанной поверхности к 1 м<sup>2</sup>.

Испытания проводились на машинотракторном агрегате, состоящем из трактора Т-40 и лабораторной бороны, оборудованной игольчатыми дисковыми рабочими органами (рис. 4) [7].

Показатели режимов работы, оказывающие влияние на формирование объема лунок на 1 м<sup>2</sup>, являются скорость движения агрегата ( $V$ ) и угол установки ( $\alpha$ ) рабочих органов – игольчатых дисков. При исследовании влияния факторов были выбраны пределы варьирования: скорость движения агрегата – 5...9 км/ч, угол установки рабочих органов – 0...16°.

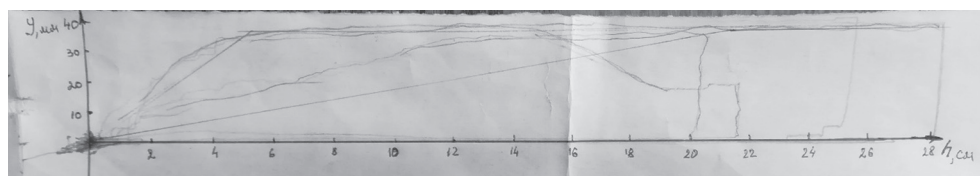


Рис. 2. Твердограмма почвы поля в Черлакском районе Омской области

Применение пассивного режима предназначено для обработки легких почв и почв, подверженных дефляционным процессам. В пассивном режиме рабочий орган почвообрабатывающего орудия установлен таким образом, что вращение игольчатых дисков происходит против часовой стрелки.

Глубину обработки почвы ограничивают до  $\frac{1}{2}$  длины иглы для того, чтобы в большей степени работали ребра игл.

Для обоснования режимов работы орудия (скорость движения агрегата и угол атаки) необходимо выполнить практические испытания и определить качественные показатели (влагонакопления и крошение почвенного пласта).



Рис. 3. Общий вид агрофона поля многолетних трав



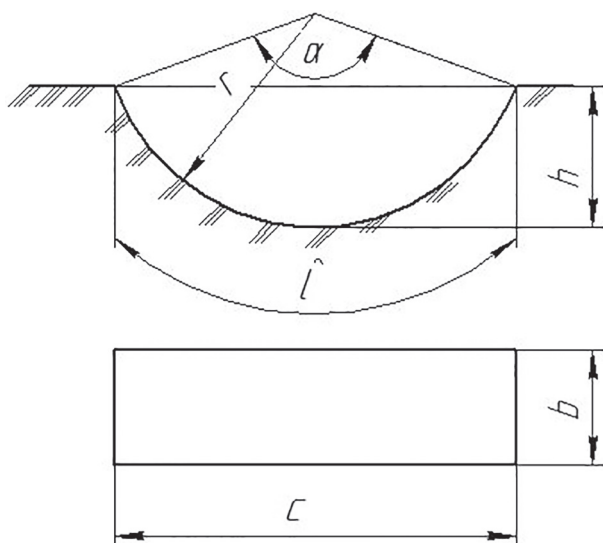
**Рис. 4. Машиноtractorный агрегат (трактор Т-40 и лабораторная установка)**

Величину объема лунок на 1 м<sup>2</sup> определяли замером рамкой 0,25×0,25 м<sup>2</sup> и пересчитывали на 1 м<sup>2</sup>. Среднее число лунок при разных параметрах скорости и угла атаки остается постоянным: 64 шт./м<sup>2</sup>. Объем одной лунки рассчитывался по выполненным замерам ширины, длины и глубины лунки. При проведении опыта при значении угла атаки 0° объем лунки рассчитывается из рис. 5 по формуле:

$$V = S \cdot b, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина лунки;  $S$  – площадь сегмента, ограниченного хордой:

$$S = \frac{1}{2[r \cdot l - c(r - h)]}, \quad (2)$$



**Рис. 5. Расчетная схема объема лунки при значении угла атаки 0°:**

$r$  – радиус;  $\alpha$  – угол;  $l$  – длина дуги;  $h$  – глубина;  $c$  – длина;  $b$  – ширина лунки

где  $r$  – радиус окружности:

$$r = \frac{c^2 + 4h^2}{8h}, \quad (3)$$

где  $c$  – длина лунки;  $h$  – глубина лунки;  $l$  – длина дуги:

$$l = r \cdot \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – образующий угол дуги:

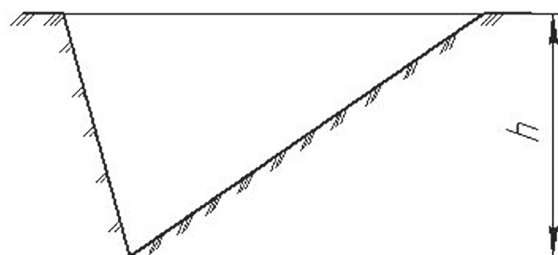
$$\alpha = \arccos\left(\frac{2r^2 - c^2}{2r^2}\right). \quad (5)$$

Выполнив подстановку замеренных значений величин в формулы (1)–(5), получим значение объема лунки, а следовательно, и объема лунок на 1 м<sup>2</sup>.

В случае установки угла атаки более 0° объем лунки рассчитывается из рис. 6 по формуле:

$$V = \frac{1}{6} b \cdot l \cdot h, \quad (6)$$

где  $h$  – глубина,  $b$  – ширина,  $l$  – длина.



**Рис. 6. Расчетная схема объема лунки при значении угла атаки, отличного от 0°**

Для определения оптимальных параметров, согласно методу композиционного планирования эксперимента, получим уравнения с натуральными величинами (7) и (8) и построим поверхности отклика (рис. 7, 8).

$$Y(V, \alpha) = 235,97 \cdot V - 16,86 \cdot V^2 + 3,14 \cdot \alpha^2 - 60,86 \cdot \alpha + 1122,08,$$



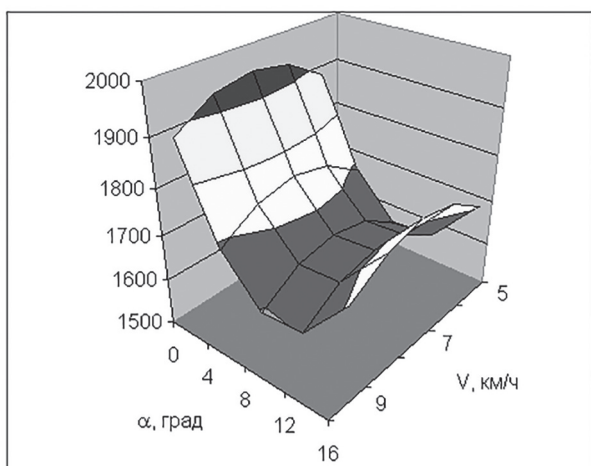
$$Y(V, \alpha) = 235,97 \cdot V - 16,86 \cdot V^2 + 3,14 \cdot \alpha^2 - 60,86 \cdot \alpha + 1122,08, \quad (7)$$

$$Y(V, \alpha) = 1,28 \cdot V + 0,96 \cdot \alpha - 0,97. \quad (8)$$

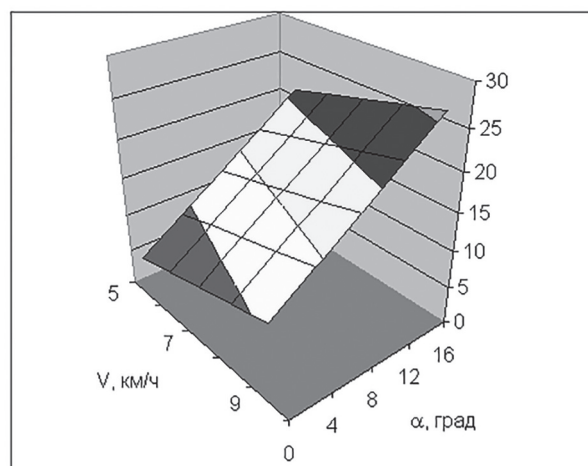
При анализе поверхностей отклика (рис. 7 и 8) выявлены оптимальные параметры:

- для влагонакопления: угол атаки, равный  $0^\circ$ , а скорость движения агрегата – 7 км/ч;
- для рыхления: угол атаки, равный  $16^\circ$ , а скорость движения агрегата – 9 км/ч (рис. 9, а).

Оптимальным параметром для влагонакопления и рыхления почвы будет являться угол атаки  $4^\circ$  и скорость движения агрегата – 7 км/ч. При таких технических параметрах будет происходить не только накопление влаги, но и качественная поверхностная обработка почвы (рис. 9, б).



**Рис. 7. Поверхность отклика объема лунок на 1 м²:**  
α – угол атаки; V – скорость движения агрегата



**Рис. 8. Поверхность отклика качества рыхления почвенного пласта:**  
α – угол атаки; V – скорость движения агрегата



а



б

**Рис. 9. Результаты обработки поля:**  
а – максимальные параметры для рыхления почвы;  
б – оптимальные параметры для влагонакопления и рыхления почвы

## Заключение

В результате практических исследований, согласно матрице ортогонального планирования, были выполнены исследования по оценки влагонакопления и качества рыхления почвенного пласта. Для супесчаной почвы твердостью 14,5 кПа с агрофоном многолетних трав, таких как костреч безостый и люцерна, были получены уравнения регрессии влагонакопления и качества рыхления, на основе чего выявлены оптимальные параметры: для влагонакопления – угол атаки, равный  $0^\circ$ , а скорость движения агрегата – 7 км/ч; для рыхления – угол атаки, равный  $16^\circ$ , а скорость движения агрегата – 9 км/ч.

При таких технических параметрах будет происходить комплексная обработка почвы с накоплением влаги и качественным рыхлением поверхностного пласта почвы.

## Литература

1. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996. 367 с.
2. Абрамов Н.В., Ершов В.Л., Ионин П.Ф. и др. Земледелие Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ТГСХА, 2009. 348 с.
3. Шмидт А.Н., Кем А.А. Применение игольчатых борон в ресурсосберегающих технологиях // Актуальные проблемы научного обеспечения земледелия Западной Сибири: сборник науч. статей, посвященный 70 летию академика РАН Храмова И.Ф., 95-летию основания отдела земледелия ФГБНУ «Омский АНЦ»; ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. С. 170–176.
4. Шмидт А.Н., Кузьмин Д.Е., Мяло В.В., Союнов А.С. Особенности ранневесеннего влагосбережения // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (33). С. 162–167.
5. 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 университета 2019. № 1. С. 134–141.
6. Гайдадин А.Н., Ефремова С.А. Использование метода композиционного планирования эксперимента для описания технологических процессов: метод. указания; ВолгГТУ. Волгоград, 2008. 16 с.
7. Союнов А.С., Зарипова Н.А., Шмидт А.Н. Почвообрабатывающее орудие с игольчатыми дисками: патент на полезную модель № 185828 РФ; опубл. 19.12.2018, Бюл. № 35.
8. [Siberia]. Tyumen': Izd-vo TGSKHA Publ., 2009. 348 p.
9. Shmidt A.N., Kem A.A. Application of needle harrows in resource-saving technologies. Aktual'n-yye problemy nauchnogo obespecheniya zemledeliya Zapadnoy Sibiri: sbornik nauch. Statey posvyaschennyy 70 letiyu akademika RAN Khramtsova I.F., 95 letiyu osnovaniya otdela zemledeliya FGBNU «Omskiy ANTS» [Actual Problems of Scientific Support of Agriculture in Western Siberia: Collection of Scientific Articles dedicated to the 70th Anniversary of the Academician of the Russian Academy of Sciences Ivan F. Khramtsov, the 95th Anniversary of the founding of the Department of Agriculture of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agricultural Scientific Center"], FGBNU «Omskiy ANTS», Omsk; izd-vo IP Maksheyevoy Ye.A., 2020, pp. 170–176 (in Russ.).
10. Shmidt A.N., Kuz'min D.E., Myalo V.V., Soyunov A.S. Features of early spring moisture conservation. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. No 1 (33), pp. 162–167 (in Russ.).
11. Kem A.A., Shevchenko A.P., Begunov M.A., Koval' V.S. Experimental studies of the interaction of the working bodies of the needle disc with plant residues. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta 2019. No 1, pp. 134–141 (in Russ.).
12. Gaydadin A.N., Yefremova S.A. Ispol'zovaniye metoda kompozitsionnogo planirovaniya eksperimenta dlya opisaniya tekhnologicheskikh protsessov [Using the method of compositional planning of an experiment to describe technological processes]: metod. ukazaniya; VolGGTU Publ.. Volgograd, 2008. 16 p.
13. Soyunov A.S., Zaripova N.A., Shmidt A.N. Pochvoobrabatyvayushcheye orudiye s igol'chatymi diskami [Tillage implement with needle discs]: patent na poleznuyu model' No 185828 RF; opubl. 19.12.2018, Byul. No 35.

## References

1. Kiryushin V.I. Ekologicheskiye osnovy zemledeliya [Ecological foundations of agriculture]. Moscow: Kolos Publ., 1996. 367 p.
2. Abramov N.V., Yershov V.L., Ionin P.F. i dr. Zemledeliye Zapadnoy Sibiri [Agriculture in Western