
КИНЕМАТИКА ЗУБЬЕВ РОТАЦИОННОЙ БОРОНЫ

**Владимир Васильевич Василенко
Сергей Владимирович Василенко
Виктор Валентинович Шередекин
Кирилл Игоревич Котляков**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Наиболее распространёнными орудиями для поверхностной обработки почвы являются зубовые бороны, которые при всей своей простоте конструкции имеют несколько недостатков. Зубья, подобно граблям, накапливают на себе старые растительные остатки и требуют периодической ручной очистки. Одну из своих функций – уничтожение проростков сорняков они выполняют недостаточно эффективно из-за того, что вырванные зубьями сорные растения остаются в почве и при достаточной влажности приживаются вновь. Если поверхность поля глыбистая, то бороны движутся неустойчиво, совершают прыжки, и качество работы резко ухудшается. Этих недостатков лишены ротационные бороны с активным приводом, они уничтожают больший процент сорняков, но их конструкция слишком сложна. Игольчатые бороны со свободным вращением уничтожают только проростки сорняков за счёт деформации почвы вокруг зубьев и реже – за счёт прямого попадания зуба. В последние годы находят распространение роторные рабочие органы с заторможенным вращением, представляющие два последовательно расположенных катка (или ротора), которые соединены цепной передачей и несут на своей окружности рабочие органы в виде прутьев, зубьев или рабочих элементов другой формы. Один из этих роторов при помощи цепной передачи тормозит вращение другого. Заторможенный ротор проскальзывает и срывает сорняки. Зубья периодически выходят из почвы и выносят их на поверхность поля. Этим ротационные бороны отличаются от плоских пассивных борон. Но и они имеют недостатки, заключающиеся в формировании неровностей глубины обработки. Эти неровности свойственны траекториям движения зубьев. Графоаналитический метод определения высоты неровностей показал, что агротехническое требование, ограничивающее эту высоту до 2,5 см, достижимо при определённых конструктивных параметрах ротационной бороны с заторможенным вращением. Диаметр ротора должен быть не менее 550 мм, число зубьев в одном ряду – 16 и более, а передаточное отношение тормозящего устройства – меньше или равно 2,0.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зубовой ротор, траектория движения, неровности глубины обработки, коэффициент скольжения, число зубьев, проростки сорняков.

KINEMATICS OF ROTARY HARROW TINES

**Vladimir V. Vasilenko
Sergey V. Vasilenko
Victor V. Sheredekin
Kirill I. Kotlyakov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The most common tools for surface tillage are tined harrows, which have several disadvantages despite of rather simple design. Their tines are like rake accumulating old crop residues and requiring periodic manual cleaning. One of their functions is the elimination of weed sprouts, which is not efficient enough due to the fact that the weed plants pulled out by the tines remain in the soil and take root again in case of adequate moisture. If the field surface is cloddy, the harrows move unsteadily and jump, which deteriorates the quality of work. Rotary harrows with an active gear are free of these disadvantages: they eradicate a higher percentage of weeds, but their design is too complicated. Free-running spiked harrows eradicate only the sprouts of weeds due to the deformation of the soil around the tines and (less often) a direct hit of the tine. In recent years engineers have developed rotary working bodies with hindered rotation designed as two tandem furrow-forming wheels (or rotors) connected with the help of a chain gear and carrying the rod-shaped, tined or other working bodies on their periphery. One of these rotors hinders the rotation of the other with the chain gear. The hindered rotor creeps and pulls out weeds. The tines are pulled out of the soil from time to time and pull the weeds onto the surface of the field. This is the

difference between rotary harrows from flat passive harrows. But they also have a disadvantage, which is the non-uniform tillage depth. Such unevenness is characteristic for the motion paths of the tines. The graphical analytic method for determining the height of irregularities showed that the agrotechnical requirement that limits their height to 2.5 cm can be met at certain design parameters of the rotary harrow with hindered rotation. The rotor diameter should be not less than 550 mm, the number of tines per row should be 16 or more, and the gear ratio of the retarder should be 2.0 or lower.

KEY WORDS: tined rotor, motion path, irregularities of tillage depth, slip ratio, number of tines, weed sprouts.

Введение

Боронование – это приём обработки почвы зубовой или игольчатой бороной, обеспечивающий крошение, рыхление и выравнивание поверхности поля, а также уничтожение проростков и всходов сорняков [5]. При работе обычных зубовых борон часто наблюдается накопление старых растительных остатков на зубьях, и требуется их периодическая очистка. Очистка борон является агротехническим обязательным требованием и представляет собой очень трудоемкий процесс [6]. Это один из недостатков пассивных рабочих органов. Другой недостаток заключается в том, что сорванные зубьями прорастающие сорняки остаются в почве, и значительная часть из них не погибает, а приживается вновь. Движение борон по глыбистой поверхности сопровождается их «галопированием». Глыбистость поверхности уменьшается с применением вибрирующих полосовых отвалов на плугах [9].

Гораздо в меньшей степени забиваются почвой и растительными остатками ротационные [8] и игольчатые [7] бороны. Они могут быть свободно перекатываемыми и с активным приводом. Первые из них, например, ротационные мотыги МВН-2,8 [10] уничтожают мелкие проростки сорняков за счёт сдвига почвы вонзающимся в неё зубом, а реже – за счёт прямого попадания зуба в сорняк. Большой процент уничтожения сорняков и лучшее рыхление почвы наблюдается при работе ротационных борон с активным приводом, но эти орудия более сложны по своей конструкции.

Новое направление в развитии орудий для поверхностной обработки почвы – это роторные рабочие органы с заторможенным вращением [2, 4]. Такое орудие представляет собой два последовательно катящихся ротора, соединённые между собой цепной передачей. Передний ротор притормаживает задний, заставляя его проскальзывать с определённым коэффициентом скольжения. По окружности заднего ротора расположены рабочие органы в виде прутьев, погружающихся в почву на 4-6 см и вычёсывающих сорняки. Одновременно эти прутья нивелируют поверхность почвы. При всей простоте конструкции и эффективности работы прутковые роторы трудно заходят в почву и требуют либо дополнительных грузов на раме орудия, либо слишком тонких прутьев.

Если применяются ротационные почвообрабатывающие органы с приводом или с торможением вращения, будет иметь место невыровненность глубины обработки, которое допускается по нормам агротехники до 2,5 см [1, 3]. Необходимо определить такие конструктивные параметры ротационной бороны, которые удовлетворяли бы агротехнические требования по невыровненности глубины обработки зубьями, движущимися по траектории заторможенного вращения.

Методика расчёта

Зубья заторможенного ротора совершают плоскопараллельное движение в пространстве. Траектория такого движения рассчитывается графоаналитическим методом. Как и при анализе работы планок мотвила уборочной техники, вычерчивается траектория суммарного перемещения конца зуба в результате вращательного и поступательного движений. Смежные кривые пересекаются в продольно-вертикальной плоскости, формируя неровности дна борозды, которые достигают максимума в точках пересечения кривых.

Результаты и их обсуждение

По аналогии с графоаналитическим исследованием движения прутьев заторможенного роторного рыхлителя [4] намечается пробный вариант размерных характеристик конструкции, и для него вычерчиваются траектории движения смежных рабочих органов. Если в результате анализа этих траекторий выясняется отклонение от агротехнических требований по показателям качества работы, изменяются исходные данные и анализ повторяется. Покажем результаты расчёта по наиболее рациональным параметрам конструкции и режима её работы, выяснившимся в результате анализа пробных вариантов.

В расчёте принимается, что основным рабочим органом является задний ротор (рис. 1).

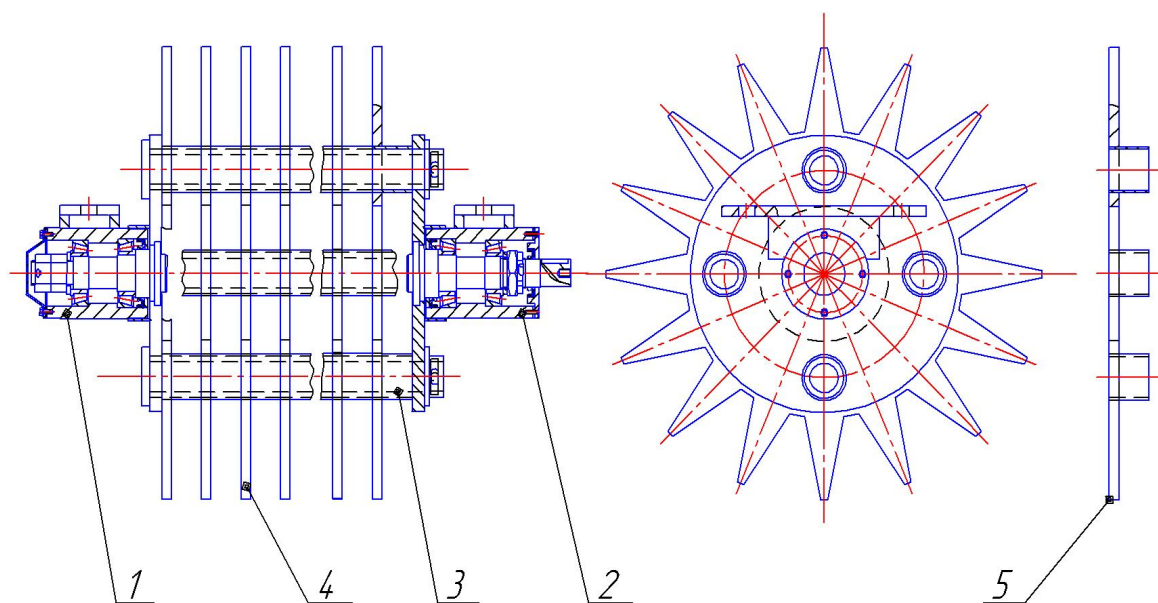


Рис. 1. Задний ротор: 1 – опорный узел; 2 – опорно-приводной узел; 3 – дистанционная втулка; 4 – зубчатый диск; 5 – зубчатый диск с приваренными втулками

Зубья заднего ротора часть пути проходят методом перекатывания вместе с окружностью ротора, а другую часть пути они движутся, скользя в почве без вращения. Отношение длины скольжения к длине рабочего прохода назовём коэффициентом скольжения. В расчёте также принимается допущение, что передний ротор не проскальзывает и не пробуксовывает, а совершает правильное качение. Тогда коэффициент скольжения зубьев заднего ротора определяется в соответствии с уравнением (1)

$$\delta_{ск} = 1 - i^{-1}, \quad (1)$$

где $\delta_{ск}$ – коэффициент скольжения;

i – передаточное отношение цепной передачи.

В свою очередь, передаточное отношение рассчитывается по следующей зависимости:

$$i = \frac{\omega_{пер}}{\omega_{зад}} = \frac{z_{зад}}{z_{пер}}, \quad (2)$$

где $\omega_{пер}$, $\omega_{зад}$ – угловые скорости вращения переднего и заднего роторов, рад/с;

$z_{пер}$, $z_{зад}$ – число зубьев передней и задней звёздочек.

Выражение (1) является основным для расчёта кинематических параметров заторможенного ротора.

На рисунке 2 показаны траектории движения трёх смежных зубьев, построенные по следующим исходным данным:

- радиус ротора по концам зубьев $R = 275$ мм;
- число зубьев на диске $z = 16$;
- передаточное отношение $i = 2$.

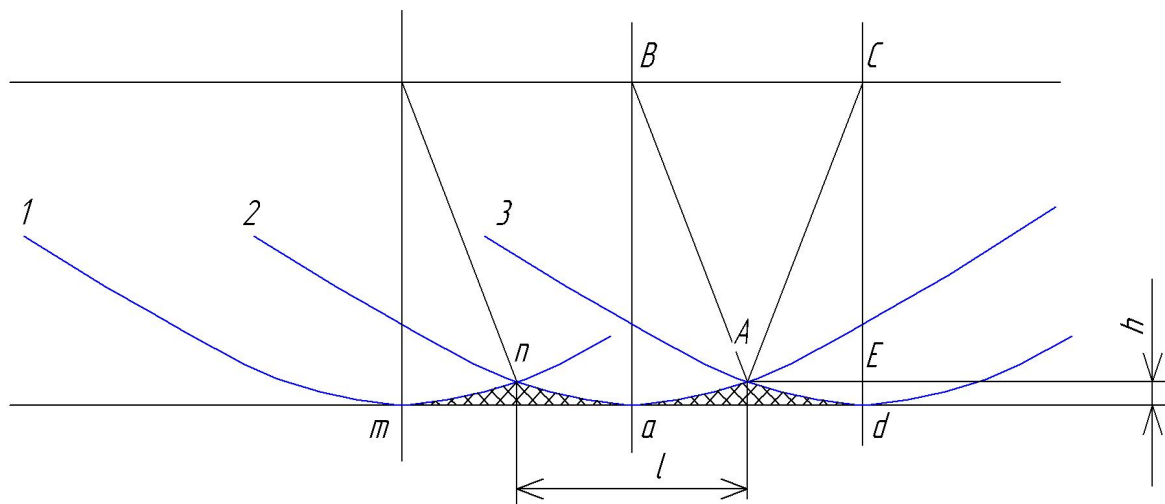


Рис. 2. Фрагменты траекторий смежных зубьев:
 1, 2, 3 – траектории движения смежных зубьев на рабочем диске;
 АВ – радиус вращения конца зуба;
 ВС – линия движения оси ротора;
 h – неравномерность глубины обработки почвы

Перед построением траекторий вычисляются следующие технические показатели:

- отношение окружной скорости вращения зубьев к скорости перемещения всего орудия, или кинематический режим роторного рабочего органа λ ;
- длина пути агрегата за один оборот ротора X_0 ;
- коэффициент проскальзывания рабочего ротора δ .

$$\lambda = \omega R / V_m . \quad (3)$$

$$X_0 = 2\pi R / \lambda . \quad (4)$$

$$\delta = 1 - i^{-1} = 1 - \lambda . \quad (5)$$

Из рисунка 2 очевидно, что агротехнические показатели могут быть вычислены по выражениям

$$l = X_0 / z , \quad (6)$$

$$h = R - \sqrt{R^2 - (0,5l)^2} , \quad (7)$$

где l , h – соответственно расстояние между периодическими возвышениями дна борозды и их высоты.

Расчёты показали, что при выбранных исходных данных неровности дна борозды возникают с периодичностью 216 мм, а их высота равна 22 мм.

Можно проследить, как влияют на высоту неровностей при выбранном диаметре ротационной борозы два остальных конструктивных параметра – число зубьев на одном диске и передаточное отношение между тормозящим и рабочим роторами. С учетом равенства $\lambda = i^{-1}$ выражение (7) принимает вид

$$h = R \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{i \cdot \pi}{z} \right)^2} \right). \quad (8)$$

Графическое представление выражения (8) показывает, что дальнейшее уменьшение высоты неровностей глубины обработки может быть достигнуто путём увеличения числа зубьев или уменьшения передаточного отношения цепной передачи (рис. 3).

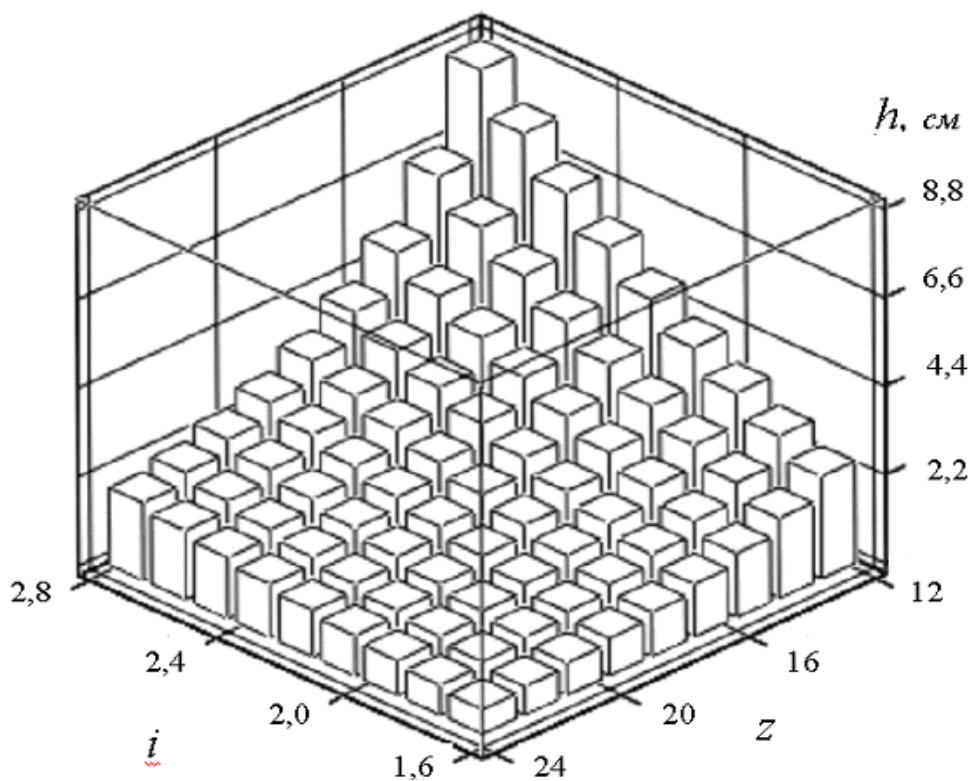


Рис. 3. Зависимость неровностей глубины обработки от передаточного отношения и числа зубьев на диске

Выводы

При работе заторможенной зубовой ротационной бороны высота неровностей глубины обработки и их частота зависят от трёх конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия: диаметра ротора, числа зубьев, идущих по одному следу, и передаточного отношения цепной передачи.

Агротехнические требования к качеству боронования могут быть удовлетворены при диаметре ротора $D = 550$ мм, числе зубьев на одном рабочем диске $z = 16$ и передаточном отношении $i = 2$.

Дальнейшее повышение равномерности глубины обработки при выбранном диаметре ротора достигается за счёт увеличения числа зубьев и уменьшения передаточного отношения.

Библиографический список

1. Агротехнические требования к боронованию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lektii.com/1-42386.html> (дата обращения: 25.12.2016).
2. Безгербицидная технология спорит с гербицидами / В.Я. Котельников, А.В. Карнашко, Д.В. Мотин, А.В. Котельников // Сельский механизатор. – 2008. – № 12. – С. 18-23.

3. Боронование почвы как важный этап в подготовке земли к посадкам [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://nasotke.ru/rannevesennnee-boronovanie-kultivacija-pochvy-motoblokom-video.html> (дата обращения: 25.12.2016).
4. Василенко В.В. Кинематика движения прутьев заторможенного роторного рыхлителя / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.В. Котельников // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2014. – Вып. 4 (43). – С. 104-107.
5. Обработка почвы в ЦЧР : учеб. пособие / С.И. Коржов, Т.А. Трофимова, В.А. Маслов, А.П. Пичугин. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2010. – С. 49-51.
6. Пат. 2060611 РФ, МКИ A01B 19/02 (1995.01). Самоочищающаяся борона / И.И. Сахацкий, И.И. Зайцева, В.В. Сахацкая, И.И. Сахацкий ; заявитель и патентообладатель АО «Курганмашзавод». – № 93030431/15, заявл. 10.06.1993, опубл. 27.05.1996, Бюл. № 2. – 6 с.
7. Пат. 2148299 РФ, МКИ A01B 49/02 (2000.01). Устройство для обработки почвы / А.Ф. Бурбель, А.И. Серебряков, В.П. Савин, А.Н. Белан, И.Д. Лисиенков, В.Д. Костин ; заявитель и патентообладатель А.Ф. Бурбель, А.И. Серебряков, В.П. Савин, А.Н. Белан, И.Д. Лисиенков, В.Д. Костин. – № 99120448/13, заявл. 29.09.1999, опубл. 10.05.2000, Бюл. № 13. – 4 с.
8. Пат. 2262218 РФ, МКИ A01B 21/00, A01B 21/08 (2000.01). Секция ротационной бороны конструкции Буркова Л.Н. / Л.Н. Бурков ; заявитель и патентообладатель Бурков Л.Н. – № 2003130718/12, заявл. 17.10.2003, опубл. 20.10.2005, Бюл. № 29. – 3 с.
9. Пат. 2426290 РФ, МКИ A01B 15/08 (2006.01). Полосовой отвал плуга / В.В. Василенко, С.В. Василенко, Д.В. Стуров, Г.А. Халфин, А.И. Сергиенко ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки». – № 2010112577/21; заявл. 31.03.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23. – 4 с.
10. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Боронование почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://k-a-t.ru/sxt/2-pochva4_borony/index.shtml (дата обращения: 25.12.2016).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39, E-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Сергей Владимирович Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39, E-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Виктор Валентинович Шередекин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39, E-mail: viktor_scher@mail.ru.

Кирилл Игоревич Котляков – студент агроинженерного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39.

Дата поступления в редакцию 14.12.2016

Дата принятия к печати 26.01.2017

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir V. Vasilenko – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 224-39-39, E-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Sergey V. Vasilenko – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 224-39-39, E-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Victor V. Sheredekin – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 224-39-39, E-mail: viktor_scher@mail.ru.

Kirill I. Kotlyakov – Student of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 224-39-39.

Date of receipt 14.12.2016

Date of admittance 26.01.2017