

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРНОГО ДИСКА С ПОЧВОЗАЦЕПАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ УЗКОПРОФИЛЬНЫХ ГРЯД

А. И. ФИЛИППОВ

УО «Гродненский государственный аграрный университет»,
г. Гродно, Республика Беларусь, 230008, e-mail: a.fil07@mail.ru

А. Ч. СВИСТУН

УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
г. Гродно, Республика Беларусь, 230023, e-mail: svistun_ach@grsu.by

(Поступила в редакцию 01.07.2026)

Решение проблемы снижения пестицидной нагрузки при возделывании картофеля, должно быть сосредоточено в направлении максимального механического удаления сорных растений при возделывании данной культуры и применении экологически безопасных средств защиты растений. Определяющим фактором при усовершенствовании существующих технологий, обеспечивающих существенное снижение пестицидной нагрузки, является применение средств механизации, обеспечивающих выполнение многих технологических операций и обладающих новым конструктивным решением. В исследования входило усовершенствование технологии производства картофеля в режиме экологического земледелия, при которой должен быть задействован агрегат универсальный для экологического земледелия, выполняющий одновременно несколько функций в технологическом цикле, где одну из функций должен будет выполнять фрезерный диск с почвозацепами для обработки узкопрофильных гряд.

В данной статье приведены теоретические расчеты геометрических параметров фрезерного диска с почвозацепами для обработки узкопрофильных гряд. Эти расчеты были использованы при разработке фрезерных рабочих органов для механического удаления сорняков на боковых поверхностях узкопрофильных гряд в режиме экологического земледелия. Применение данных рабочих органов обеспечивает поверхностную культивацию без выноса нижних горизонтов почвы. Это способствует снижению энергозатрат на рыхление, формирование гребней и окучивание, а также позволяет эффективно уничтожать сорную растительность механическим способом, исключая химическую обработку.

Основное внимание в данных исследованиях было направлено на выявление закономерностей взаимодействия рабочих органов с почвой, при которых достигается требуемая степень крошения верхнего слоя почвы и уничтожения сорной растительности с минимальными энергозатратами, а также уделено особое внимание усовершенствованию ресурсосберегающих технологий в системе органического земледелия. Использование механических методов борьбы с сорной растительностью в свою очередь ведёт к минимизации пестицидной нагрузки, что особенно важно при переходе на технологию органического земледелия при возделывании картофеля.

Ключевые слова: культиватор, схема, фрезерные диски, почво-зацепы, рыхлители, боковые поверхности гребней, рабочие органы, агрегат, экологическое земледелие.

The solution to the problem of reducing pesticide loads during potato cultivation should be focused on maximizing mechanical weed removal during cultivation and using environmentally friendly plant protection products. The decisive factor in improving existing technologies that significantly reduce pesticide loads is the use of mechanization that enables the implementation of multiple process operations and features a new design solution. The research included improving the technology for organic potato production, which would utilize a universal organic farming unit that performs several functions simultaneously in the process cycle, one of which would be a cutter disc with soil-enabled cleats for cultivating narrow-profile beds.

This article presents theoretical calculations of the geometric parameters of a rotary tiller disc with lugs for cultivating narrow-profile beds. These calculations were used in the development of rotary tillers for mechanical weed removal on the side surfaces of narrow-profile beds in organic farming. The use of these tillers enables surface cultivation without removing the lower soil horizons. This reduces energy consumption for loosening, ridge formation, and hilling, and allows for effective mechanical weed control, eliminating chemical treatments.

The primary focus of this research was to identify patterns of interaction between the tillers and the soil that achieve the required degree of topsoil crumbling and weed control with minimal energy consumption. Special attention was also paid to improving resource-saving technologies in organic farming. The use of mechanical weed control methods, in turn, leads to a minimization of pesticide loads, which is especially important when transitioning to organic farming technologies for potato cultivation.

Key words: cultivator, diagram, rotary discs, soil lugs, rippers, ridge sides, working parts, unit, organic farming.

Введение

В настоящее время производство картофеля в Республике Беларусь осуществляется в режиме интенсивного применения пестицидов. В государственном реестре средств защиты растений и удобрений разрешено к применению на территории республики 160 видов пестицидов, из них 51 вид инсектицидов, 48 – гербицидов, 41 – фунгицидов, 21 протравитель. Их применение безусловно сказывается на качестве картофеля и пищевой безопасности продукции, а впоследствии и на здоровье людей. Главным приоритетом при выращивании данной культуры является внедрение технологии органического земледелия с минимальной пестицидной нагрузкой. В рамках этой задачи исследована кон-

струкция рабочих органов для механической борьбы с сорняками, что позволяет минимизировать применение пестицидов.

В технологии производства органического картофеля приоритетными являются механические приемы подавления сорной растительности, применяемые как до появления всходов, так и в фазе вегетации. Данные методы демонстрируют наибольшую эффективность на ранних стадиях развития сорняков.

В сельскохозяйственной практике Республики Беларусь преобладает гребневая технология возделывания картофеля. Формирование узкопрофильных гребней в предпосадочный период выполняется культиваторами-гребнеобразователями, оснащенными рабочими органами активного или пассивного типа [1]. Для междурядной обработки посадок картофеля применяются специализированные культиваторы, выполняющие рыхление, внесение удобрений и уход за защитной зоной ряда. Именно обработка защитной зоны представляет наибольшую технологическую сложность в условиях органического (экологического) земледелия [2].

Модернизация рабочих органов и оптимизация технологических режимов являются ключевыми факторами повышения качества междурядной обработки картофеля. Совершенствование конструктивных параметров машин не только улучшает их эксплуатационные характеристики, но и способствует росту урожайности за счет создания благоприятных агрофизических условий.

Технологический уход за поверхностью узкопрофильных гряд реализуется с применением широкого спектра рабочих органов. В современной практике наиболее востребованы отвальные и дисковые окучивающие модули. Анализ предыдущих исследований [1, 2] показал, что рабочие органы дискового окучивания обеспечивают более плотную обрабатываемую поверхность. Данное состояние поверхности характеризуется замедленным появлением сорняков и меньшей плотностью их популяций, что выгодно отличает его от условий на рыхлых почвах. Недостатком указанных рабочих органов является чрезмерное рыхление дна борозд и стенок гребней на глубину 3–5 см. Это приводит к перемещению семян сорной растительности из глубоких горизонтов в верхний слой почвы, что стимулирует их активное прорастание. Кроме того, данные механизмы неэффективны при подавлении сорняков непосредственно на поверхности гряд и в защитных зонах [3, 4].

Таким образом, существует острая научно-производственная задача – создание новых рабочих органов для механического подавления сорняков, которые обеспечивали бы сплошную обработку откосов узкопрофильных гряд, точное копирование рельефа, поверхностное рыхление без перемешивания слоёв почвы и минимальные энергозатраты. Решение этой задачи позволит снизить пестицидную нагрузку, получить экологически чистую продукцию и реализовать принципы органического земледелия в условиях Республики Беларусь.

Поэтому теоретическое обоснование параметров фрезерного диска пассивного типа с почвозацепами, адаптированного к профилю гряды, является актуальным и имеет важное народнохозяйственное значение.

Ранее предложенные технические решения для возделывания картофеля предусматривают использование сферических дисков, закрепленных на грядилях культиватора-окучника. Конструктивная особенность данных органов заключается в том, что сферические диски повернуты выпуклой сферической поверхностью в противоположном направлении от обрабатываемых поверхностей гряд, а их рабочая поверхность выполнена гладкой, без дополнительных вырезов. К недостаткам данных рабочих органов следует отнести низкую эффективность подавления сорной растительности на поверхности гребня. Кроме того, за счет перемещения прорастающих семян из глубоких горизонтов в верхний слой почвы провоцируется вторичное засорение, требующее повторных обработок [5].

Переход к технологиям органического земледелия требует минимизации пестицидной нагрузки, что делает приоритетным использование механических методов борьбы с сорной растительностью. В связи с этим нами проводятся исследования по совершенствованию конструкции рабочих органов культиваторов. Обоснование параметров таких органов и анализ факторов, влияющих на их тяговое сопротивление, подробно представлены в работе [6].

В статье [7] рассматриваются вопросы повышения качества поверхностной обработки почвы за счет использования роторных автоприводных агрегатов. В данной работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации конструктивных и режимных параметров почвообрабатывающего устройства. Основное внимание уделено выявлению закономерностей взаимодействия рабочих органов с почвой, которые позволяют достичь требуемой степени крошения пласта и уничтожения сорной растительности при минимальных энергозатратах. Данная рабо-

та направлена на совершенствование ресурсосберегающих технологий в системе точного и органического земледелия.

Наряду с совершенствованием традиционных подрезающих органов [6] и оптимизацией роторных систем [7], особый интерес представляют разработки в области выдергивания сорняков. Так, в работе [8] предложен агрегат для удаления сорной растительности методом теребления, что открывает новые возможности для реализации стратегии производства экологически чистой продукции. В статье [9] представлены результаты исследований по теоретическому и экспериментальному обоснованию работы роторного агрегата для удаления сорняков методом теребления. Установлены оптимальные кинематические режимы и конструктивные параметры агрегата, обеспечивающие максимальную полноту удаления сорной растительности при минимальном повреждении культурных посевов. Исследование подтверждает высокую эффективность применения роторных систем в рамках ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий растениеводства.

В статье [10] рассматриваются технологические аспекты формирования узкопрофильных гряд при возделывании сельскохозяйственных культур, анализируется влияние геометрических параметров гряды на физико-механические свойства почвенного слоя. В данной работе [10] приводятся результаты исследований по обоснованию конструктивных параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин, обеспечивающих стабильность формы гряды и равномерность её уплотнения. Данная технология рассматривается как база для последующего применения высокоточных рабочих органов (в том числе роторных и теребильных), так как строго фиксированное положение растений в узких грядах облегчает механическое уничтожение сорняков в междурядьях и защитных зонах.

В работе [11] представлено теоретическое исследование динамики игольчатой бороны, выведено уравнение движения рабочего органа, учитывающее его взаимодействие с почвенной средой и поступательную скорость агрегата. В статье [11] обосновываются параметры качения игл, при которых достигается эффективное разрушение почвенной корки и уничтожение проростков сорняков в стадии «белой нити» с минимальным повреждением культурных растений. Данное математическое описание позволяет оптимизировать скоростные режимы работы бороны для достижения наилучшего агротехнического эффекта.

Целью данной работы является теоретическое обоснование параметров фрезерного рабочего органа для механической борьбы с сорняками при возделывании картофеля.

Основная часть

Выполним теоретическое обоснование параметров фрезерного рабочего органа, спроектированного на базе сферического окучивающего диска. Расчетная модель базируется на принципе пассивного вращения диска, возникающего в результате его фрикционного взаимодействия с почвенной средой при поступательном движении агрегата.

В данной работе определены функциональные задачи фрезерных дисков, предназначенных для уничтожения сорной растительности на боковых поверхностях узкопрофильных гряд. Выполнен расчет конструктивных параметров диска, оснащенного почвозацепами. К основным функциям устройства относятся:

1. Адаптация к рельефу гряды посредством шарнирно-пружинного механизма.
2. Механическое удаление сорняков с помощью рабочих элементов (почво-зацепов).
3. Аэрация верхнего слоя почвы (до 2 см) дисково-лепестковым модулем.

Определение внешнего диаметра сферического диска (D) производится по следующей зависимости:

$$D = \frac{A - B}{2 \cdot \sin \alpha},$$

где A – ширина основания узкопрофильной гряды, B – ширина гряды по ее вершине, α – угол наклона гряды к вертикали. Надёжность работы диска в условиях длительной эксплуатации зависит не только от геометрии, но и от износостойкости его рабочей поверхности. Как показано в исследованиях по электроискровому легированию [12 – 14], нанесение износостойких покрытий на стальные детали позволяет увеличить ресурс рабочих органов в 1,5–2 раза. Применительно к почво-зацепам фрезерного диска такая технология могла бы снизить абразивный износ. Кроме того, при движении культиватора по полю возникают вертикальные колебания, которые передаются на рабочие органы и могут нарушить точность копирования профиля гряды. В работах [15, 16], посвящённой вертикальным колебаниям сиденья водителя колёсного трактора при движении по неровностям опорной поверхности, установлено, что амплитуда колебаний в диапазоне 2–5 Гц достигает 15–20 мм. Эти дан-

ные косвенно подтверждают необходимость использования шарнирно-пружинной подвески фрезерных дисков с демпфирующими элементами.

В качестве исходных данных для расчета приняты типовые геометрические характеристики гряды: $A=450 \text{ мм}$, $B=272,15 \text{ мм}$, $\alpha = 20^\circ$. С учетом геометрии и параметров профиля гряды, расчетное значение наружного диаметра фрезерного диска составит: $D=260 \text{ мм}$.

Определим диаметр размещения почвозацепов дисково-лепесткового рыхлителя (d). На основании установленного соотношения $d = (0,4-0,5) \cdot D$ [17, 18] находим граничные значения: минимальный диаметр составляет $d_{\min} = 0,4 \cdot 260 = 104 \text{ мм}$, максимальный – $d_{\max} = 0,5 \cdot 260 = 130 \text{ мм}$. Для дальнейших расчетов принимаем среднюю величину, равную $d = 115 \text{ мм}$.

Определим толщину выпуклой части сферического фрезерного диска (C), используя зависимость: $C = (0,07-0,12) \cdot D$ [17, 18]. Расчет показывает, что при минимальном значении $C_{\min} = 0,07 \cdot 260 = 18,2 \text{ мм}$ и максимальном $C_{\max} = 0,12 \cdot 260 = 31,2 \text{ мм}$, оптимальной является средняя величина $C = 25 \text{ мм}$. Данный параметр гарантирует требуемую жесткость конструкции при рабочих нагрузках.

Определим конструктивные параметры почвозацепов [17, 18]. Длина лепестка дискового рыхлителя (b) варьируется в диапазоне 40–50 мм. Для дальнейших расчетов принимаем значение $b=45 \text{ мм}$. Шаг размещения почвозацепов (η) составляет 70–90 мм. В качестве расчетного значения принимаем $\eta = 80 \text{ мм}$. Диаметр прутка для изготовления почвозацепов варьируется в пределах 8–10 мм. Для обеспечения повышенного ресурса и износостойкости рабочих органов принимаем значение 10 мм.

Рассчитаем количество почвозацепов (z) исходя из средней окружности сферического фрезерного диска. Средний рабочий диаметр (примерно на середине выпуклой части) можно принять равным $D_{cp} \approx 0,9 \cdot D = 234 \text{ мм}$, а длину средней окружности рассчитаем по формуле: $L_{окр} = \pi \cdot D_{cp} = 3,14 \cdot 0,234 = 0,735 \text{ м} = 735 \text{ мм}$.

Тогда количество почвозацепов будет равно: $z = L_{окр} / \eta = 735 / 80 \approx 9,2$, что является достаточным количеством. Принимаем $z=10$ почвозацепов на одном фрезерном диске.

Выполним кинематический расчет для данного диска. Поскольку диск является пассивным, его частота вращения (n) является не задаваемым параметром, а зависимой величиной от условия вращения. Чтобы диск вращался, а не волочился, сила сопротивления почвы на его ободе должна создавать крутящий момент, превышающий момент трения в ступице. Для культиваторов междурядной обработки типична скорость агрегата V_a составляет величину 6,0–8,0 км/ч. Для расчета примем скорость агрегата V_a величину равную 7,2 км/ч $\approx 2 \text{ м/с}$.

Окружная скорость сферического фрезерного диска ($V_{\text{л}}$) при его пассивном вращении всегда будет немного меньше поступательной скорости агрегата. Иначе не будет проскальзывания, вычесывания и подрезания сорняков. Коэффициент буксования для пассивных дисков составляет $\delta=0,8...0,95$. Для наших расчетов принимаем $\delta=0,9$. С учетом вышесказанного имеем: $V_{\text{л}} = V_a \cdot \delta = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ м/с}$.

Рассчитаем частоту вращения диска (n) по формуле:

$$n = \frac{V_{\text{л}} \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{1,8 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,26} \approx 132,3 \text{ об/мин}.$$

Теоретическая частота вращения пассивного диска (132,3 об/мин) при скорости движения 7,2 км/ч соответствует заданным агротехническим параметрам, что подтверждает корректность выбранных геометрических характеристик.

Выполним силовой расчет для данного диска. Цель силового расчета для пассивного диска – определить силу сопротивления его перекатыванию и проверить, достаточна ли она для преодоления трения и вращения диска.

Силу сопротивления качению диска ($F_{\text{кач}}$) упрощенно можно оценить как силу для перемещения диска по почве. Она складывается из сопротивления почвозацепов и рыхлителя: $F_{\text{кач}} = k \cdot S$, где k –

удельное сопротивление качению (для пассивных орудий $\sim 0.8\text{--}1.2 \text{ кН/м}^2$), S – площадь проекции диска на вертикальную плоскость.

Площадь проекции сферического фрезерного диска сложна для расчета, но для оценки можно принять ее как площадь прямоугольника со сторонами D и C (рис. 3 из [19]), где C – ширина выпуклой части сферического диска, рассчитанная по формуле $C = 0.096 \cdot D$.

Тогда, площадь будет равна $S = D \cdot C = 0.26 \cdot 0.025 = 0.0065 \text{ м}^2$, а сила сопротивления качению диска – $F_{\text{кач}} = 1000 (\text{Н} / \text{м}^2) \cdot 0.0065 (\text{м}^2) = 6.5 \text{ Н}$.

Момент сопротивления на оси диска (M) создается силами, которые действуют на почво-зацепы. Сила на один почво-зацеп (F_3) зависит от сопротивления почвы резанию. Для поверхностного подрезания $F_3 \approx 10\text{--}20 \text{ Н}$. Будем считать, что одновременно с почвой контактирует 2–3 почво-зацепа. Тогда, момент сопротивления на оси диска будет равен $M = F_3 \cdot z_{\text{раб}} \cdot D / 2 = 15 \cdot 2.5 \cdot 0.26 / 2 \approx 4.9 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Выполним проверку условия вращения. Чтобы диск вращался, необходимо выполнение условия: $M > M_{\text{тр}}$, где $M_{\text{тр}}$ – момент трения в подшипниковом узле, который можно оценить по формуле $M_{\text{тр}} = F_{\text{рад}} \cdot f \cdot d_{\text{подш}} / 2$, где $F_{\text{рад}}$ – радиальная нагрузка на подшипник (примерно равна силе сопротивления качению диска ($F_{\text{кач}}$) плюс вес диска $\sim 100 \text{ Н}$, f – коэффициент трения в подшипнике скольжения (~ 0.1), $d_{\text{подш}}$ – диаметр оси подшипника (примем $20 \text{ мм} = 0.02 \text{ м}$).

Тогда, момент трения в подшипниковом узле будет равен:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{рад}} \cdot f \cdot d_{\text{подш}} / 2 = 100 \cdot 0.1 \cdot 0.02 / 2 = 0.1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Так как момент сопротивления на оси диска намного больше, чем момент трения в подшипниковом узле ($M (4.9 \text{ Н} \cdot \text{м}) \gg M_{\text{тр}} (0.1 \text{ Н} \cdot \text{м})$), то условие вращения выполняется с большим запасом. Данный факт подтверждает работоспособность пассивной схемы.

Для оценки роли пружинного механизма для копирования рельефа проведем расчет усилия на пружине 10 (рис. 2 из [19]), которая обеспечивает прижим диска к склону гряды. Необходимое усилие прижима $F_{\text{пр}}$ должно быть достаточным для заглубления почвозацепов на требуемую глубину (до 20 мм) и преодоления отбрасывающего действия диска.

Упрощенно, данную силу можно оценить по силе резания:

$$F_{\text{пр}} = \frac{F_3 \cdot z_{\text{раб}}}{\mu},$$

где μ – коэффициент трения почвы по стали (~ 0.5).

$$F_{\text{пр}} = \frac{F_3 \cdot z_{\text{раб}}}{\mu} = \frac{15 \cdot 2.5}{0.5} = 75 \text{ Н}.$$

Таким образом, пружина должна быть отрегулирована на создание усилия порядка $\sim 70\text{--}80 \text{ Н}$. Это соответствует довольно слабой пружине, что позволяет органу быть «плавающим» и хорошо копировать рельеф.

Ключевой задачей обоснования геометрических параметров является проектирование фрезерных дисков, обеспечивающих сплошное уничтожение сорной растительности на откосах узкопрофильных гряд. Конструкция должна гарантировать точное копирование профиля поверхности как в довсходовый период, так и во время вегетации.

На рис. 1 представлен поперечный разрез узкопрофильной гряды, сформированной для возделывания картофеля, и схематично показано расположение пассивного фрезерного диска на откосе гряды. Гряда имеет трапециевидную форму с заданными геометрическими параметрами: $A=450 \text{ мм}$ – ширина основания гряды, $B=272,15 \text{ мм}$ – ширина гряды по её вершине, $\alpha = 20^\circ$ – угол наклона боковой поверхности (откоса) гряды к вертикали. На боковой поверхности (откосе) гряды схематично изображён сферический фрезерный диск диаметром D (260 мм), установленный таким образом, что его выпуклая рабочая поверхность обращена к откосу. Диск контактирует с поверхно-

стью почвы по дуге, что обеспечивает копирование профиля. На рис. 1 также указана ось вращения диска и показано направление его пассивного вращения при движении агрегата.

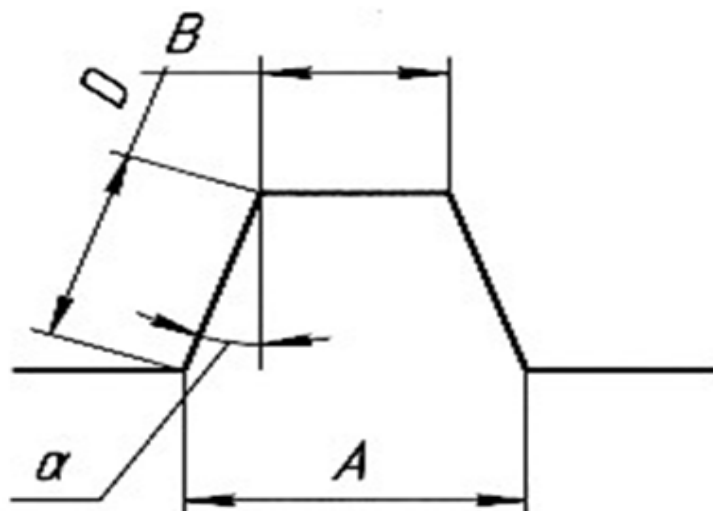


Рис. 1. Схема обоснования размеров фрезерного диска относительно профиля поверхности гряды

На рис. 2 представлен вид на рабочий орган – сферический фрезерный диск пассивного типа – в аксонометрической проекции или развёртке. Данный рисунок наглядно демонстрирует конструктивную схему фрезерного диска с указанием взаимного расположения почвозацепов и дисково-лепесткового рыхлителя, что позволяет визуализировать принцип механического уничтожения сорняков и поверхностного рыхления откосов гряды. Перед началом использования фрезерных дисков регулируется положение каждого рабочего органа – сферического диска 6 с его почвозацепами 7 и дисково-лепестковыми рыхлителями 8 относительно боковых поверхностей узкопрофильных гребней. Для этого используется измерительный инструмент и набор ключей. Проставка 4 раздвигается на необходимую ширину, стойки 5 поворачиваются так, чтобы плоскости дисков соприкасались с боковыми поверхностями гряд. Натяжение пружины 10 регулируется таким образом, чтобы каждый рабочий орган, контактирующий с почвой, находился в плавающем положении и копировал рельеф почвы [18].

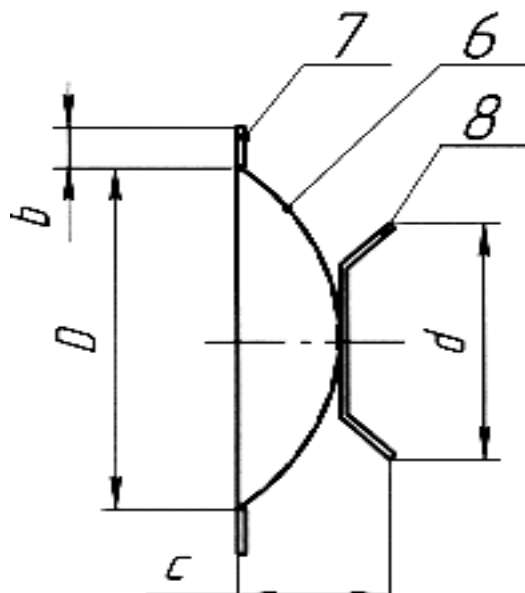


Рис. 2. Схема размещения почвозацепов и дисково-лепесткового рыхлителя

На рис. 3 представлен фрагмент экспериментальной установки, предназначенной для отработки технологического процесса механической борьбы с сорняками с использованием пассивных фрезерных дисков. В качестве модельной поверхности применена деревянная гряда, которая имитирует

геометрический профиль реальной узкопрофильной картофельной гряды (с заданными параметрами A , B и углом откоса α). Использование деревянной модели позволяет визуализировать и контролировать точность копирования профиля без разрушения почвенной структуры.



Рис. 3. Экспериментальные фрезерные диски с деревянной грядой

Технологический процесс функционирования устройства реализуется следующим образом – при поступательном движении агрегата сферические диски приходят в пассивное вращение за счет фрикционного взаимодействия с почвой. Рабочие органы ориентированы выпуклой стороной к поверхности гряды; на этой же стороне зафиксированы дисково-лепестковые рыхлители. В процессе работы обеспечивается поверхностная культивация откосов (до 2 см), что гарантирует механическую деструкцию проростков сорной растительности. Стабильное копирование профиля гряды при курсовых отклонениях агрегата достигается благодаря комбинированной шарнирной подвеске, допускающей перемещение рабочих органов в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Таким образом, рису. 3 иллюстрирует экспериментальную проверку теоретических расчётов: демонстрируется, как сферические диски с почвозацепами копируют профиль деревянной гряды, обеспечивая поверхностную культивацию откосов (глубиной до 2 см) и механическую деструкцию проростков сорняков.

Заключение

Полученные результаты подтверждают теоретическую обоснованность выбранных геометрических параметров [17, 18]. Расчетные данные позволяют спроектировать работоспособную конструкцию пассивного фрезерного диска, полностью соответствующую агротехническим нормативам. Результаты теоретических исследований позволили спроектировать и представить конструктивную схему рабочего органа. Адаптация параметров пассивного диска к заданным условиям гарантирует реализацию всего комплекса агротехнических операций с требуемым качеством.

Фрезерная обработка боковых поверхностей гряд позволяет совместить качественное поверхностное рыхление с эффективным механическим уничтожением сорняков. Отсутствие перемешивания слоев почвы снижает общую энергоёмкость технологического процесса и обеспечивает получение экологически чистой продукции без использования химических средств защиты растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов, В. П. Чеботарев, К. Л. Пузевич // Вестник Белорус. гос. с.-х. академии. – 2020. – №4. – С. 118–123.
2. Филиппов, А. И. Обзор машин для обработки пропашных культур и их усовершенствование для экологического земледелия / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, В. П. Чеботарев, К. Л. Пузевич // Вестник БГСХА. – 2022. – № 1. – С. 160–167.

3. Ресурсосберегающая технология и технические средства основной обработки почвы / В. М. Бойков, С. В. Старцев, А. В. Павлов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2010. – № 7. – С. 53–57.
4. Коробейник, И. А. Результаты полевых испытаний усовершенствованной секции пропашного культиватора с параллелограммной подвеской рабочих органов / И. А. Коробейник, Т. А. Уртаев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 47, № 2. – С. 125–130.
5. Энергетический расчет почвообрабатывающей фрезы / П. И. Гаджиев, М. М. Махмутов, Ю. Р. Хисматуллина, А. И. Алексеев // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета: научный журнал. – 2020. – №34 (39). – С. 43–47.
6. Курдюмов, В. И. Анализ факторов, влияющих на тяговое сопротивление рабочего органа пропашного культиватора / В. И. Курдюмов, Е. В. Софронов, С. Г. Мударисов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 2. – С. 100–104.
7. Цепляев, А. Н. Оптимизация параметров технологического процесса поверхностной обработки почвы роторным автоприводным агрегатом / А. Н. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – №1 (25). – С. 160–164.
8. Цепляев, В. А. Агрегат для удаления сорняков методом тербления / В. А. Цепляев, А. Н. Матасов // Сельский механизатор. – 2014. – №9. – С. 21–25.
9. Цепляев, В. А. Обоснование применения роторного агрегата для борьбы с сорняками методом тербления / В. А. Цепляев, А. Н. Матасов, А. Н. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – №2. – С. 256–263.
10. К вопросу формирования узкопрофильных гряд / В. П. Чеботарёв, В. Н. Еднач, Э. В. Заяц, А. И. Филиппов // Агропнорама. – 2019. – № 5. – С. 22–26.
11. Самсонов, В. А. Уравнение движения игольчатой бороны / В. А. Самсонов, М. М. Ковалев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – №2. – С. 2–3.
12. Электроискровые фторсодержащие покрытия / Е. В. Овчинников, А. Ч. Свистун, А. И. Веремейчик [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2025. – № 2(137). – С. 68–72.
13. Физико-механические характеристики нанокomпозиционных покрытий на основе алтинов / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, Е. И. Эйсымонт [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 83–92.
14. Физико-механические характеристики электроискровых покрытий, полученных из порошковых материалов / Е. В. Овчинников, В. Михайлов, Е. И. Эйсымонт [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 6–17.
15. Линник, Д. А. К вопросу оценки вертикальных колебаний сиденья водителя при движении колесного трактора по неровностям опорной поверхности / Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 112–119.
16. Мусафиров, Э. В. Математическая модель колебаний сиденья водителя колесного трактора / Э. В. Мусафиров, Д. А. Линник, А. Ч. Свистун // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 64–75.
17. Устройство для фрезерной обработки боковых поверхностей узкопрофильных гряд: полез. модель ВУ 11884 / А. А. Аутко, Э. В. Заяц, А. И. Филиппов, С. В. Стуканов, А. В. Зень. – Опубл. 28.02.2019.
18. Агрегат комбинированный для обработки профилированной поверхности почвы: полез. модель ВУ 12102 / А. А. Аутко, С. Г. Яговдик, А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов, И. А. Шаганов. – Опубл. 30.08.2019.
19. Филиппов, А. И. Схема обоснования размеров фрезерного диска и размещения почвозацепов рыхлителя / А. И. Филиппов [и др.] // Вестник БГСХА: науч.-метод. журн. – 2020. – №3. – С. 194–197.