

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ФРЕЗ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА АТАКИ НОЖА

Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин, А.В. Князьков, Е.А. Бобровская

Рассматривается задача снижения энергоемкости почвообрабатывающих фрез за счет обеспечения необходимого угла резания. Для реализации теоретических исследований предлагаются технические решения.

Ключевые слова: конструированные параметры; фрезбарабаны; ходовые колеса; почвообразующие фрезы; устойчивость машины; схемы действия сил; расчет взаимодействия сил.

В современном сельском хозяйстве широко применяются почвообрабатывающие фрезы с вращающимися рабочими органами. Ось вращения барабанов большинства таких фрезерных

машин расположена параллельно поверхности поля. Наряду с этим используются также машины с вертикальной осью вращения. Они применяются для интенсивного крошения почвы, уничтожения

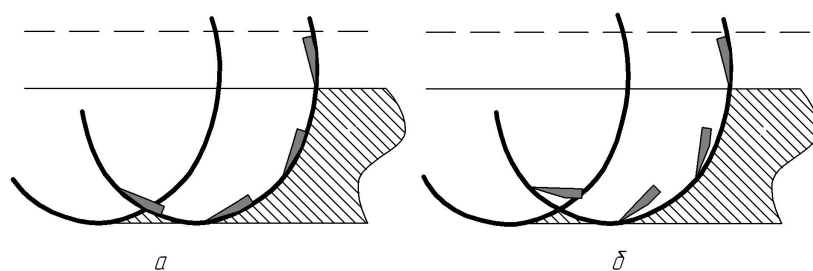


Рисунок 1 – Траектория движения ножа

сорняков, измельчения растительных остатков, перемешивания слоев почвы, заделки удобрений и выравнивания поверхности поля. В качестве способа обработки почвы при этом выступает фрезерование, которое является достаточно энергоемким. Затраты энергии на обработку почвы таким способом значительно превышают затраты ее при обработке другими машинами. Поэтому фрезеровать целесообразно тяжелые почвы, где требуется интенсивно измельчать почвенные монолиты. Недостатками почвообрабатывающих фрез является сложность их устройства и повышенный расход энергии на обработку. Отметим также, что применение ротационных машин является целесообразным лишь в тех условиях, где лемешные машины дают плохое качество работы.

Двигаясь в почве, каждый нож фрезы отрезает сегментообразный почвенный пласт (стружку) и активно на него воздействует в ограниченном пространстве закрытой борозды. В результате пласт крошится на мелкие частицы, размеры которых зависят от кинематического режима фрезы и свойств почвы. Интенсивность крошения почвы растет с уменьшением толщины пласта и наоборот.

Исследования Г.Ф. Попова [1] показывают, что в процессе отрезания стружки значительно возрастает мощность, затрачиваемая на фрезеро-

вание, по сравнению с мощностью барабана, ножи которого имеют постоянный угол резания. При движении нож в процессе резания (рисунок 1 а) проходит по траектории с минимальным углом отклонения от траектории трохоиды. При этом наблюдается минимальное трение почвы о нож. При движении ножа (рисунок 1 б) происходит изменение угла резания, что приводит к дополнительному сопротивлению резания. При таком положении ножа происходит дополнительное смятие почвы и перемещение ее в свободную борозду, что отрицательно влияет на энергетические затраты.

При рассмотрении системы сил, действующих на нож, выделим те из них, которые определяют энергоемкость фрезерования: силу резания, силу трения почвы о нож, силу деформации отрезаемого пласта и силу инерции отбрасываемой почвы (рисунок 2). Это основные силы, которые существенно зависят от угла резания. Уменьшив угол резания можно снизить и мощность на фрезерование почвы.

При взаимодействии ножа фрезы с почвой можно выделить три фазы. В первой нож, врезаясь в почву почти вертикально, отделяет от монолита большую часть объема срезаемой стружки, которая крошится и осыпается в образованную бороздку. Во второй фазе нож, продолжая срезать оставшуюся часть стружки, взаимодействует с почвой, ко-

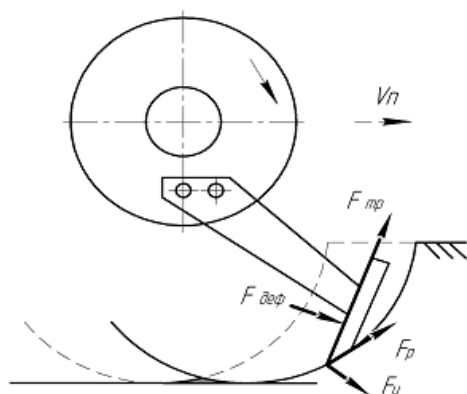


Рисунок 2 – Силы, действующие на нож

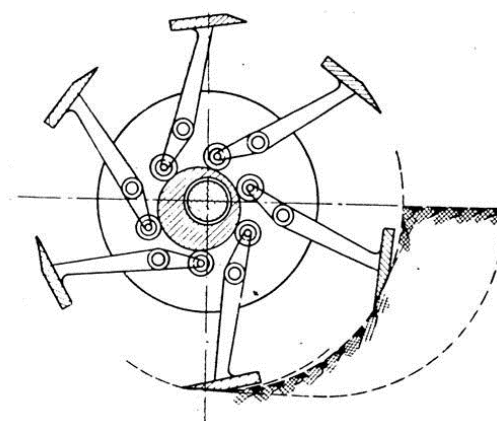


Рисунок 3 – Фреза Г.Ф. Попова

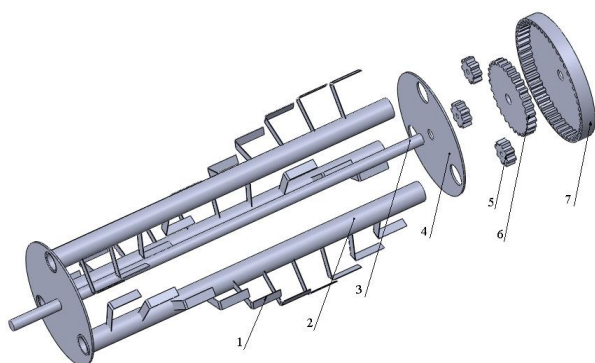


Рисунок 4 – Фреза с изменяющимся углом атаки ножа

торая заполняет профрезерованную канавку. При этом могут иметь место два процесса, существенно отличающиеся друг от друга. Если угол установки ножа большой, то почва сгуживается перед ножом, тем самым увеличивая сопротивление вращению фрезы. При малых углах установки нож как прямой острый клин движется в разрыхленной почве, которая пересыпается через его верхнюю грань. Деформация почвы в этом случае небольшая, следовательно, незначительно и сопротивление перемещению ножа. Третью фазу характеризует выход ножа из разрыхленного слоя почвы. В этой фазе ножи с большим и малым углами установки взаимодействуют с почвой по-разному. Нож с большим углом установки выбрасывает почву из канавки. Можно предположить, что нож с малым углом установки при выходе из разрыхленного слоя почву выносить не будет.

Для обеспечения постоянного угла резания Г.Ф. Поповым предлагается устройство (рисунок 3). Однако конструкция фрезерных барабанов в нем значительно сложнее, что препятствует практическому использованию подобных барабанов. При вращении фрез барабана стойка ножа, закрепленная в нем по центру шарнирно, описывает эксцентрик при помощи установленного на конце ролика. Обкатывая эксцентрик роликом, стойка отклоняется, меняя при этом угол резания ножа.

Мы предлагаем конструкцию почвообрабатывающей фрезы с изменяющимся углом атаки ножа (рисунок 4), которая при прохождении ножа в почвенном слое по траектории трохоиды изменяет угол [2, 3].

Этот эффект достигается при помощи установки на фрезу нескольких фрез барабанов. При вращении вокруг основного вала фрез барабан при помощи блока шестерен, установленных сбо-

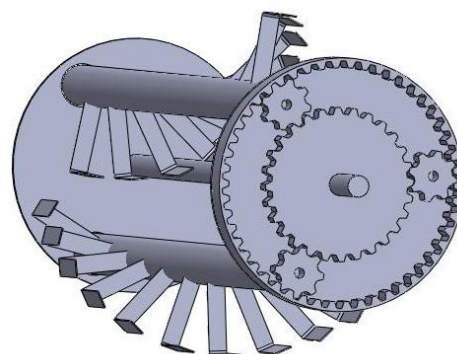


Рисунок 5 – Планетарный рабочий орган фрезы со спиралевидными ножами

ку, приводится во вращение, т. е. при прохождении в почве нож вращается вокруг основной оси и оси фрез барабана. Подбирая диаметры зубчатых шестерен и угловые скорости фрез барабана в зависимости от поступательной скорости фрезы, можно добиться движения ножа по трохоиде с оптимальным углом его установки в определенном положении. При прохождении ножа в почве с оптимальным углом резания, устраняется трение ножа о почву и повышенное смятие почвы, которые сопровождают фрезерование почвы с жестко установленным ножом.

Почвообрабатывающая фреза состоит из трех фрез барабанов, на которых установлены ножи по винтовой линии с равным шагом. Каждый нож имеет индивидуальную длину и угол установки режущей кромки. Для упрощения конструкции можно использовать фрезы со спиралевидным ножом (рисунок 5).

В существующей практике проектирования конструкций эпициклических (планетарных) зубчатых механизмов используется устоявшаяся методика их синтеза, заключающаяся в подборе количества зубьев зубчатых колес исходя из условий соосности, соседства и сборки для конкретной структурной схемы, по заданному передаточному отношению [4–7]. Однако при этом задача выбора самой структурной схемы механизма решается на основе перебора существующих схем или случайного “озарения” разработчика. В предлагаемой статье рассматриваются вопросы адаптации методики Л.Т. Дворникова и А.Э. Садиевой [5, 7] по идентификации плоских рычажных механизмов любой сложности с зубчатыми при кинематическом и структурном синтезе планетарных зубчатых механизмов, используемых в сельскохозяйственных машинах.

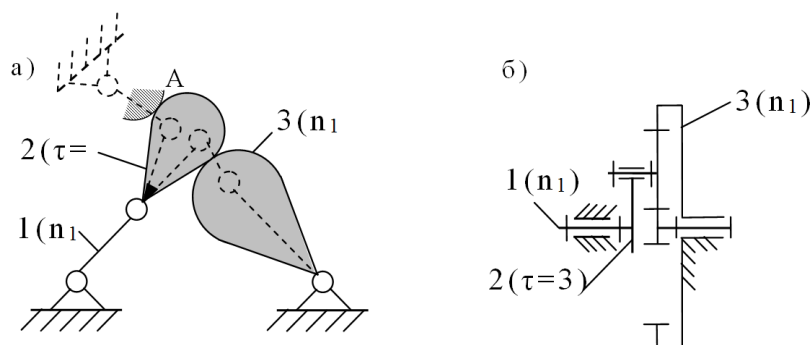


Рисунок 6 – Идентификация стержневого механизма с редуктором Чарльза

В 1993 г. профессором Л.Т. Дворниковым [5] была впервые разработана универсальная система поиска структур кинематических цепей любой сложности, а в 2000 г. им был предложен метод синтеза структур зубчатых механизмов [7]. В соответствии с этим методом, необходимые для синтеза соотношения между параметрами кинематических цепей имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (1) \quad N = (\tau - 3)n_{\tau-1} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + n_3, \\ (2) \quad n_1 = (\tau - 1) + N, \\ (3) \quad n_2 = n - 1 - n_{\tau-1} - \dots - n_i - \dots - n_3 - n_1, \\ (4) \quad p_5 = n, \\ (5) \quad p_4 = n - 1, \\ (6) \quad \gamma = n, \\ (7) \quad \alpha = n - \delta, \\ (8) \quad \delta = 2 \dots n, \end{array} \right.$$

где N – целое положительное число, включая 0; τ – количество кинематических пар наиболее сложного – базисного звена цепи, n_i – число звеньев, добавляющих в цепь по i кинематических пар; $p_{4,5}$ – количество кинематических пар соответственно

4 и 5-го классов; γ – число ветвей кинематической цепи; α – число замкнутых контуров; δ – число открытых кинематических пар.

Представленная система при конкретных независимых параметрах степени подвижности W и τ позволяет находить числа звеньев n , количества кинематических пар 5-го и 4-го классов, а также γ , α , δ – параметры, по которым можно синтезировать структурные схемы кинематических цепей в рычажном и зубчатом вариантах. Эти цепи будут отличаться друг от друга числом ветвей γ , количеством выходов δ , числом изменяемых замкнутых контуров α , и числом сторон λ . Предлагаемый метод синтеза кинематических цепей позволяет, в отличие от известных, находить все без исключения возможные цепи по заданным параметрам без пропусков и повторений.

Таким образом, система профессора Л.Т. Дворникова позволяет синтезировать все возможные кинематические цепи любой сложности, а возможность их изображения в зубчатом варианте обеспечивает отыскание всех вариантов зубчатых механизмов, вооружая конструкторов важным аппаратом проектирования новых зубчатых механиз-

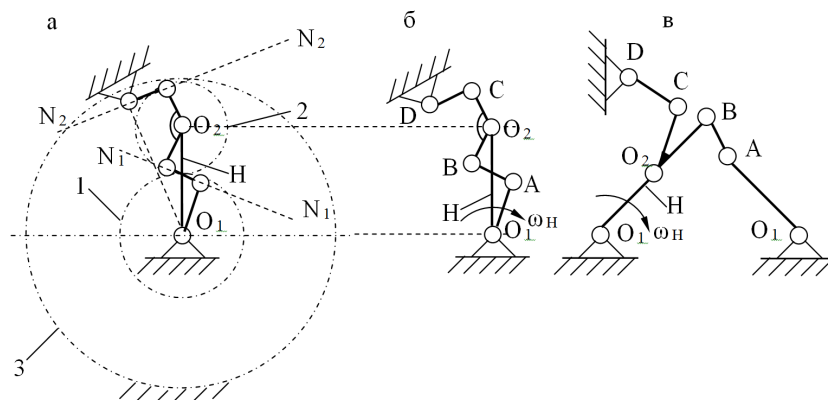


Рисунок 7 – Заменяющие механизмы

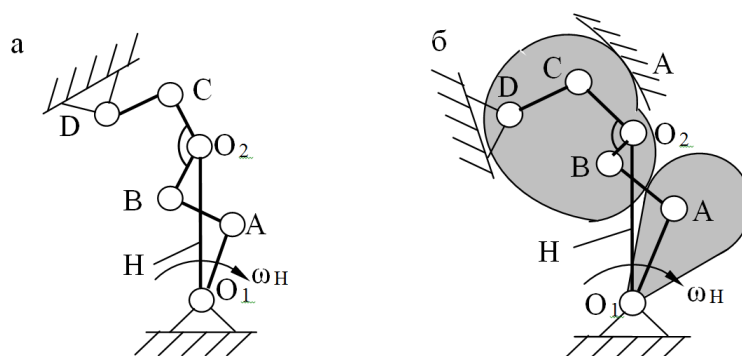


Рисунок 8 – Построение идентичного редуктору Чарльза рычажного механизма

мов. Для решения этой задачи А.Э. Садиева [6] разработала метод идентификации стержневых механизмов с зубчатыми передачами, основанный на выборе ведущих звеньев и базисного звена ($\tau = 3$) с кинематическими парами 5 и 4-го классов. Рассмотрим пример такой идентификации рычажного механизма с редуктором Чарльза (рисунок 6).

На наш взгляд, в описанном методе идентификации присутствует неоднозначность получения структурных схем зубчатых механизмов, так как не говорится о том, в какие виды зацепления (внешнее или внутреннее) идентифицируются кинематические пары 4-го класса, во-первых, и никак не отражаются метрические и кинематические параметры механизмов, во-вторых.

Этих замечаний можно избежать, если дополнительно использовать метод замены высших кинематических пар 4-го класса низшими 5-го [7]. Построим для рычажного механизма, показанного на рисунке 6, заменяющий механизм (пунктирные линии). Для полной идентификации построим заменяющий механизм для редуктора Чарльза, для чего изобразим его в другой проекции (рисунок 7 а). Для сравнения, заменяющие механизмы рычажного и зубчатого механизмов поместим рядом (рисунок 7 б и 7 в).

На рисунке 7 б представлен точный заменяющий механизм редуктора Чарльза, идентичный ему в данный момент времени как по метрическим параметрам, так и по кинематическим. Заменяющий же механизм рычажного исполнения (рисунок 7 в) совпадает с предыдущим только по количеству кинематических пар, звеньев и их конфигурации, но он не может служить мгновенным заменяющим механизмом. Для того чтобы избежать этого разногласия достаточно при синтезе кинематических цепей пары 4-го класса изображать в двух исполнениях: контакт двух выпуклых кривых (внешнее зацепление), контакт одной выпуклой и другой вогнутой кривых (внутреннее зацепление). Учиты-

вая это обстоятельство, пойдем от обратного. Для заменяющей зубчатый механизм кинематической цепи (рисунок 8 а) построим идентичный ему рычажный (рисунок 8 б) и сравним его с исходным механизмом (рисунок 8 а).

Как видно на рисунках, по структуре эти схемы принципиально не отличаются, но по конфигурации звеньев и их расположению различия существенны. В зависимости от того, какие задачи решаются, эти различия необходимо учитывать.

Показанные на рисунках 4 и 5 конструкции планетарных рабочих органов были синтезированы на основе изложенного метода. Конструкция последнего из них была изготовлена и прошла предварительную серию экспериментальных исследований в лабораторных условиях в ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» на специальном стенде с использованием автоматизированного измерительного комплекса (АИК) на базе программной среды LabVIEW 7.0 фирмы National Instruments (США). В ходе исследований регистрировались, в том числе, величина крутящего момента (рисунок 9) на валу фрезы и его частота вращения. Проведенные исследования подтвердили правильность, высказанных предположений о снижении энергозатрат на фрезерование почвы при изменении угла резания рабочих органов. В частности, в ходе выполненных исследований снижение мощности при фрезеровании инструментом с изменяемым углом резания по сравнению с существующими фрезами при прочих равных условиях, составило 15 %.

Таким образом, универсальная система поиска кинематических цепей любой сложности профессора Л.Т. Дворникова позволяет синтезировать, в том числе все плоские рычажные механизмы, в состав которых входят кинематические пары 4 и 5-го классов, подобно периодической системе Д.И. Менделеева без пропусков и повторений, а метод Дворникова – Садиевой – идентифицировать

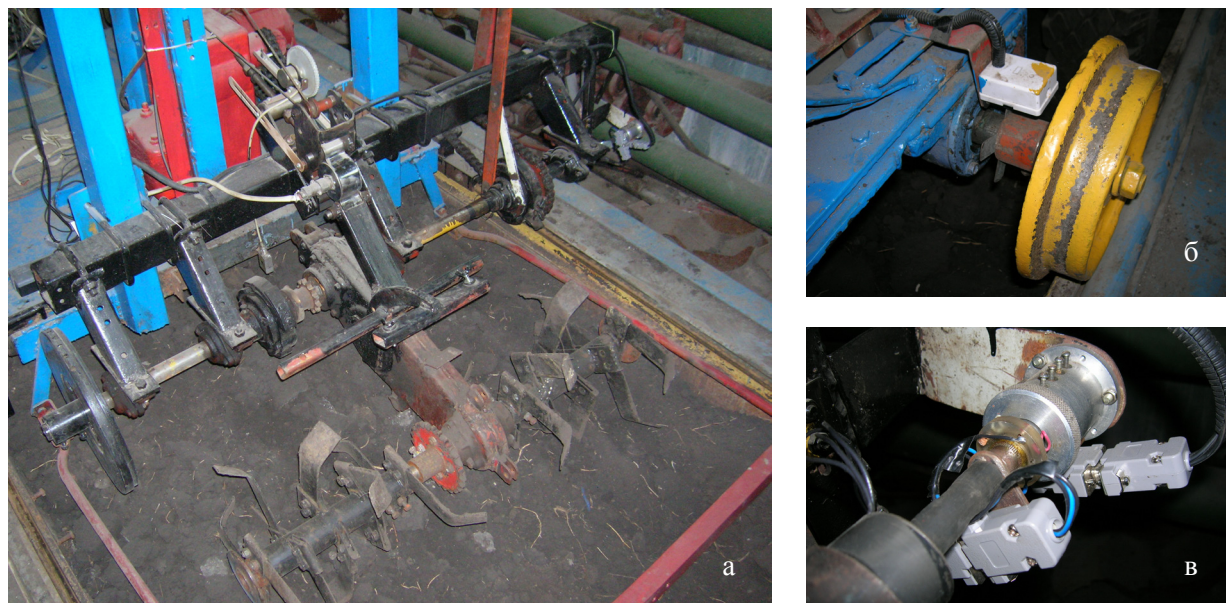


Рисунок 9 – Основные компоненты экспериментального стенда:
а – рабочий орган; б – датчик угловой скорости; в – датчик крутящего момента

их с зубчатыми механизмами. Для проверки точности идентификации можно строить мгновенные заменяющие механизмы, позволяющие решать не только задачи структуры, но и кинематики механизмов. Такой подход позволит конструкторам проектировать и создавать новые необходимые и оптимальные конструкции зубчатых механизмов; использование почвообрабатывающих фрез с изменяющимся углом установки ножа позволит сократить энергетические затраты при фрезеровании почвы, а также обеспечит необходимое качество рыхления, в том числе тяжелой и влажной почвы, обеспечивая при этом поступательное перемещение почвообрабатывающей машины.

Литература

1. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков. М.: Машиностроение, 1965. 311 с.
2. Наумкин Н.И. Синтез планетарных механизмов высокотехнологичных сельскохозяйственных машин методом их идентификации с рычажными / Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин, А.С. Князьков // Нива Поволжья. 2010. № 4. С. 45–48.
3. Садиева А.Э. Синтез планетарного рабочего органа высокотехнологичных сельскохозяйственных машин методом их идентификации с рычажными / А.Э. Садиева, Н.И. Наумкин, В.Ф. Купряшкин и др. // Известия КГТУ им. Раззакова. 2011. № 23. С. 12–14.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. М.: Наука, 1975. 640 с.
5. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов: учебное пособие. Новокузнецк, 1994. С. 102.
6. Садиева А.Э. Сложные зубчатые передачи и примеры их использования в горнопроходческой технике. Бишкек: КГТУ им. И. Раззакова; ИЦ “Техник”, 2009. 121 с.
7. Купряшкин В.Ф. Теоретические основы проектирования почвообрабатывающих фрез с изменяемым углом резания / В.Ф. Купряшкин, Н.И. Наумкин, А.С. Князьков. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 116 с.