

## Опыт и перспективы применения двухбарабанных ротационных почвообрабатывающих орудий

Инж-ры В. Н. ЗВОЛИНСКИЙ, М. А. МОСЯКОВ, С. В. СЕМИЧЕВ (ВИМ, vic.nik.ru@yandex.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена изысканию способов повышения эффективности крошения почвенного пласта почвообрабатывающими ротационными рыхлителями путем использования двухбарабанных схем, предусматривающих кинематическую связь барабанов.

**Ключевые слова:** крошение пласта, ротационная машина, энергоёмкость, обратное фрезерование, бесприводный рыхлитель, рыхлительная лапа, цепная передача, каток, двухбарабанный градоделатель, мелкокомковатая структура, трохоида, урожайность, эффективность.

## Experience and prospects of application of double-drum rotary tillage tools

V. N. ZVOLINSKIY, M. A. MOSYAKOV, S. V. SEMICHEV (All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization, vic.nik.ru@yandex.ru)

**Summary.** The article is devoted to finding ways to improve the crumbling of soil layer by rotary rippers through the use of double-drum schemes providing kinematic connection of drums.

**Keywords:** crumbling of layer, rotary machine, power consumption, reverse rototilling, driveless ripper, ripping tooth, chain drive, roller, double-drum bed-former, crumbly structure, trochoid, productivity, efficiency.

Основное достоинство ротационных почвообрабатывающих машин с приводом от вала отбора мощности (ВОМ) трактора — интенсивность крошения пласта. Достижение требуемой степени крошения осуществляется несколькими способами — изменением частоты вращения роторов (в случаях привода от ВОМ трактора), увеличением количества рабочих органов на фланцах фрезбарабанов, совершенствованием их геометрии, использованием дополнительных рабочих органов (комбинированные фрезы) и увеличением количества фрезбарабанов.

Для обработки особо тяжелых почв, например задернелых заочкаренных земель при мелиоративной подготовке для окультуривания минеральных почв под пастбища, была предпринята попытка создания двухбарабанной фрезы путем модернизации однобарабанной лугоболотной фрезы типа ФБН-1,5. Для последней характерен такой недостаток, как повышенная энергоёмкость процесса при излишнем измельчении обрабатываемого слоя, расположенного под дерниной, что не допускается исходными требованиями на базовую технологическую операцию [1].

Двухбарабанная фреза за один проход осуществляет качественную разделку верхнего слоя  $h_1$  на глубину 10—14 см передним барабаном и обработку поддернового слоя на глубину  $h_2$  до 10 см задним барабаном, вращающимся в обратном направлении (рис. 1).

Макетный образец двухбарабанной фрезы с Г-образными рабочими органами, предназначенной для обработки особо тяжелых почв на общую глубину  $h$  до 25 см, был исследован в ВИСХОМе еще в 1980-е гг. Передний барабан диаметром  $D_1 = 500$  мм располагался выше на  $h' = 200$  мм заднего барабана диаметром  $D_2 = 250$  мм и был удален от него на  $l = 560$  мм. Угловая скорость переднего барабана, вращавшегося в попутном направлении, составляла  $\omega_1 = 36,21$  рад/с, а задний барабан, имевший обратное направление вращения с угловой

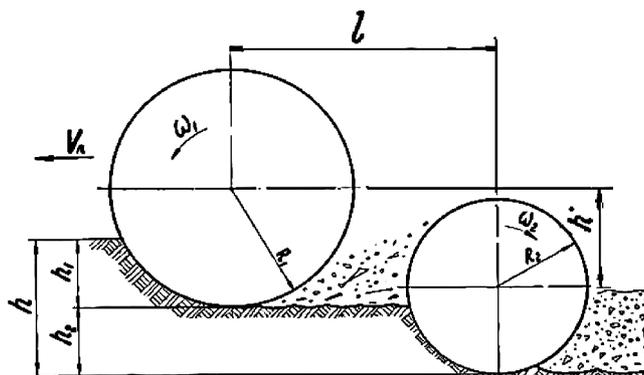


Рис. 1. Схема обработки почвы двухбарабанной лугоболотной фрезой

скоростью  $\omega_2 = 25,8$  рад/с, обеспечивал достаточно качественное крошение почвы. При этом наблюдалось хорошее заглубление рабочих органов, более ровное дно борозды и снижение количества поломок ножей при встрече с каменными включениями [2].

По результатам исследований ожидалось повышение производительности машины на 20—30 %. На практике этого не произошло. Все агротехнические показатели были достигнуты при повышенной энергоёмкости выполняемого процесса и высокой материалоемкости конструкции. Поэтому двухбарабанные фрезы мелиоративного назначения распространения не получили, а дальнейшее снижение энергоёмкости болотных фрез пошло по пути совершенствования формы и параметров установки рабочих органов.

Для интенсификации крошения верхнего слоя при подготовке почвы под посев озимых зерновых культур по непаровым предшественникам после основной обработки (без дополнительных рыхлительных лап), а также предпосевной подготовке почвы под посев промежуточных и озимых культур при поверхностной обработке стерневых фонов и пласта трав (в комплектации с рыхлительными лапами без дискования на глубину до 12 см) в ВИСХОМе при участии ВИМа и НПО "Подмосковье" был создан бесприводный ротационный агрегат РБР-4М (рис. 2).

Агрегат состоит из двух расположенных фронтально друг за другом на расстоянии 430 мм зубчатых барабанов диаметром 660 и 630 мм, кинематически связанных при помощи цепной передачи. Частота вращения заднего барабана в 3 раза выше, чем переднего приводного барабана [3]. Сзади расположен зубчато-планчатый каток диаметром 350 мм, выравнивающий и дополнительно крошащий обработанную почву.

Известны аналогичные конструкции ротационных рыхлителей DynaDrive (Англия), Kongskilde (Дания-Франция) и РР-3,0 (Россия, ВНИИ риса).

Передний ротор навесного бесприводного рыхлителя РБР-4М представляет собой трубу с приваренными двойными фланцами, между которыми установлены зубчатые рабочие органы в виде лопаток шириной 40 мм, толщиной 12 мм и длиной 345 мм, по 8 шт. на каждом фланце. Задний ротор — труба с приваренными фланцами, на которых установлены такие же рабочие органы, по 4 шт. на фланце. Цепной привод (редуктор) передает вращение от переднего ротора на задний. Планчатый каток диаметром 350 мм служит для дополнительного выравнивания и рыхления поверхностного слоя почвы.

При поступательном движении агрегата рабочие органы передних зубчатых барабанов рыхлят почву и дробят крупные комки. Рабочие органы заднего барабана, вращаясь втрое быстрее, интенсивно крошат почву, взрыхленную передними зубьями. Выравнивание дна борозды может осуществляться плоскорезущими стрельчатыми лапами, устанавливаемыми либо в два ряда по всей ширине захвата, либо только по следу трактора.

К плюсам рыхлителя можно отнести уменьшенные по сравнению с фрезерным культиватором КФГ-3,6 удельный расход топлива и удельные энергозатраты, что подтверждено государственными испытаниями на

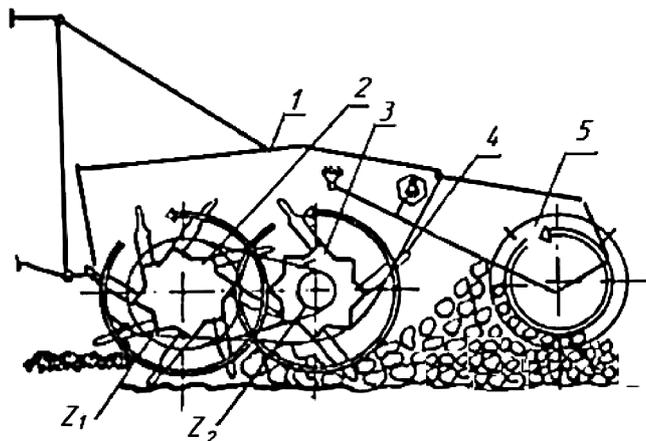


Рис. 2. Кинематическая схема бесприводного рыхлителя РБР-4М:

1 — рама; 2 — передний барабан; 3 — задний барабан; 4 — рабочие органы; 5 — планчатый каток



Рис. 3. Фрезерный культиватор Cultirateau (Франция)

Кировской МИС. Однако рыхлитель имеет и ряд недостатков:

- после обработки почвы дает незначительное увеличение количества эрозионно опасных частиц;
- обеспечивает содержание в обработанном слое не менее 85 % фракций до 5 см, однако этот показатель снижается на средних суглинистых почвах;
- имеет несколько худшее крошение почвы по сравнению с фрезой за счет недостаточной скорости вращения барабана;

— в связи с зависимостью качества работы от скорости агрегата проблематично его использование в комбинированных почвообрабатывающих посевных агрегатах.

В настоящее время рыхлитель РБР-4М выпускается по заявкам хозяйств.

Двухбарабанные фрезерные культиваторы используются в западноевропейских странах при возделывании овощных культур на грядах в условиях, требующих качественного крошения обрабатываемого слоя на полную глубину и особенно мелкой обработки верхнего посевного или посадочного мульчирующего слоя почвы.

Фрезерный культиватор Cultirateau (рис. 3) французской фирмы Simon позволяет получить положительные результаты при возделывании моркови на засушливых

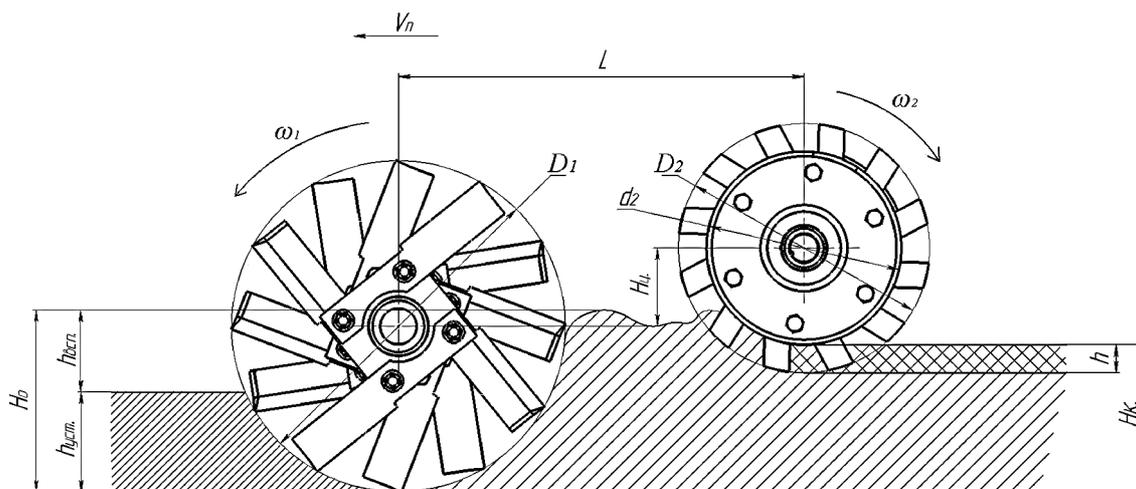


Рис. 4. Технологическая схема работы грядоделателя ФГФ-1

землях благодаря крупнокомковатой фрезерной обработке на глубину до 15 см и мелкокомковатой мульчирующей — на глубину 3—4 см. Именно такая обработка позволяет сохранить влагу при недостаточности увлажнения посевов на грядах за счет дренажа на необходимую глубину.

Культиватор включает раму с навеской и механизмом привода; передний фрезерный барабан с наклонными ножами, вращающимися по ходу движения трактора; задний барабан с зубьями высотой 60 мм, вращающимися в противоположном направлении; две боковые дисковые секции — оформители откосов гряды, установленные на переднем бруске рамы с возможностью регулировки их угла атаки; два опорных колеса, установленных на заднем бруске рамы и служащих для регулировки глубины обработки.

В ВИМе разработан аналогичный фрезерный грядоделатель ФГФ-1 (рис. 4), обеспечивающий качественное рыхление почвы на глубину до 12 см с измельчением пожнивных остатков и мульчирование поверхности поля рабочими органами (зубьями) заднего барабана на глубину до 6 см под посадку семенного картофеля в системе элитного семеноводства.

В результате работы грядоделателя образуется профилированное поле с трапециевидными грядами шириной по верху 1500 мм и борозды глубиной до 185 мм и шириной 300 мм.

#### Техническая характеристика грядоделателя ФГФ-1

Рабочая скорость, км/ч	5—7
Технологическая ширина захвата, м	1,8
Производительность, га/ч	
— основного времени	0,9—1,26
— сменного времени	0,72—1
Частота вращения фрезбаранов, мин <sup>-1</sup>	
— с Г-образными ножами	220
— с прямыми зубьями	260
Глубина обработки, см	
— Г-образными ножами	8—12
— прямыми зубьями	до 6
Диаметр фрезбарана, мм	
— с Г-образными ножами	470
— с прямыми зубьями	350

Количество ножей, шт.

- Г-образных на фланце фрезбарана . . . . . 4
- плоских зубьев в плоскости вращения . . . . . 1

Интервал по оси фрезбарана, мм

- между фланцами ножей . . . . . 90
- между зубьями . . . . . 84

Габариты в рабочем положении, мм

(длина × ширина × высота) . . . . . 1900×2100×1500

Масса, кг . . . . . 1060 ± 50

Агрегатирование с колесными тракторами:

- класс . . . . . 2
- мощность, кВт . . . . . 55,8—88,2

Обратное вращение заднего ротора создает заглубляющий эффект, обеспечивает устойчивость работы орудия по глубине и дополнительное соударение комков, вылетающих из-под переднего барабана. Кроме того, сзади по всей ширине машины установлен подвижный регулируемый по высоте фартук, при помощи которого можно менять степень крошения комков.

В отличие от описанной ранее схемы двухбарабанной лугоболотной фрезы, задний барабан культиватора (меньшего диаметра) расположен не ниже, а выше переднего барабана. Такая схема расположения ротационных рабочих органов позволяет избежать образования гребешков на дне борозды после прохода орудия, высота которых лимитирует выбор кинематического параметра фрезы  $\lambda$ , определяющего в итоге производительность машины:

$$\lambda = \frac{v_o}{v_{п}}$$

где  $v_o$  — окружная скорость рабочих органов, м/с;  $v_{п}$  — поступательная скорость, м/с.

Кроме того, такое построение машины несколько изменяет назначение второго барабана, имеющего высоту зубьев 50 мм. Барабан становится приглаживающим катком, исключая использование выравнивающего приспособления. Вместо него устанавливается регулируемый задний фартук, который дополнительно крошит вылетающую из-под переднего фрезбарана почву.

Рассмотрим затраты энергии двухбарабанной фрезы.

Известно уравнение А. Д. Далина [2], увязывающее затраты мощности на резание, отбрасывание почвы, перекачивание машины, трение в передачах и подталкивание фрезы (в случае попутного вращения барабана):

$$N = N_{\text{рез}} + N_{\text{отбр}} + N_{\text{пер}} + N_{\text{тр}} \pm N_{\text{подт}},$$

где  $N_{\text{рез}}$  — мощность, затрачиваемая на резание почвы, Вт;  $N_{\text{отбр}}$  — мощность, затрачиваемая на отбрасывание почвы, Вт;  $N_{\text{пер}}$  — потери мощности на перекачивание машины, Вт;  $N_{\text{тр}}$  — потери мощности в передаточных механизмах машины, Вт;  $N_{\text{подт}}$  — мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления резанию  $P_x$ , Вт.

Уравнение универсально для однобарабанных фрез с прямым или обратным фрезерованием. Применительно к двухбарабанной фрезе, у которой передний режущий барабан вращается в попутном направлении, а задний рыхлящий — в противоположном, уравнение затрат мощности трактора, Вт, можно выразить следующей формулой:

$$N = N_{\text{ВОМ}} + N_{\text{тяг}} = N_{1\text{рез}} + N_{2\text{рыхл}} + N_{\Sigma\text{тр}} - N_{1\text{подт}} + N_{2\text{р}} + N_{\Sigma\text{пер}} + N_{\Sigma\text{деф}},$$

где  $N_{\text{ВОМ}}$  — мощность, передаваемая через ВОМ трактора, Вт;  $N_{\text{тяг}}$  — мощность, затрачиваемая на преодоление тягового сопротивления, Вт;  $N_{1\text{рез}}$  — мощность, затрачиваемая на резание почвы первым барабаном, Вт;  $N_{2\text{рыхл}}$  — мощность, затрачиваемая на рыхление почвы вторым барабаном, Вт;  $N_{\Sigma\text{тр}}$  — суммарная мощность, теряемая в трансмиссии трактора, Вт;  $N_{1\text{подт}}$  — мощность подталкивания передним барабаном, Вт;  $N_{2\text{р}}$  — реактивная мощность (торможение) заднего барабана, Вт;  $N_{\Sigma\text{пер}}$  — мощность, затрачиваемая на перекачивание колес машины, Вт;  $N_{\Sigma\text{деф}}$  — суммарная мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления отдельных частей конструкции (защиты привода, колес, дисковых бороздорезов и др.), Вт.

$$N_{\text{ВОМ}} = N_{1\text{рез}} + N_{2\text{рыхл}} = A_{\text{уд}}avB/(\eta_{\text{п}}\eta_{\text{ВОМ}}),$$

где  $A_{\text{уд}}$  — удельная работа, Дж;  $a$  — глубина обработки, см;  $v$  — скорость агрегата м/с;  $B$  — ширина захвата машины, см;  $\eta_{\text{п}}$  — КПД трансмиссии машины;  $\eta_{\text{ВОМ}}$  — КПД трансмиссии ВОМ.

$$N_{\text{тяг}} = N_{\Sigma\text{пер}} + N_{\Sigma\text{тр}} - N_{1\text{подт}} + N_{2\text{р}} + N_{\Sigma\text{деф}};$$

$$A_{\text{уд}} = (k_{\text{р}} + k_{\text{отбр}})\lambda^2 v^2,$$

где  $k_{\text{р}} = (12,9...25) \cdot 10^3$  — коэффициент, учитывающий сопротивление почвы резанию, кг/м<sup>3</sup>;  $k_{\text{отбр}} = (1,3...2,5) \cdot 10^3$  — коэффициент, учитывающий сопротивление почвы отбрасыванию, кг/м<sup>3</sup>.

Затраты мощности на резание и отбрасывание почвы, преодоление потерь в трансмиссии как машины, так и трактора определяются на приемочных испытаниях машины методом тензометрирования ВОМ трактора.

Мощность, затрачиваемая на перекачивание опорных колес машины, может быть определена по уравнению:

$$N_{\Sigma\text{пер}} = K^{-1/3} \sqrt[3]{\frac{G^4}{D^2 b}},$$

где  $K = 1...90$  — объемный коэффициент смятия почвы, Н/см<sup>3</sup>;  $D$  — диаметр колеса, см;  $G$  — вертикальная нагрузка на каток (колесо), Н;  $b$  — ширина обода, см [4].

Суммарное тяговое сопротивление, Вт, протаскивания выступающих частей машины, деформирующих почву (деформаторов), включая бороздоделы, боковины, задний фартук, защиту привода барабанов, найдем по выражению:

$$N_{\Sigma\text{деф}} = A_{\text{уд}}kaB\sin\alpha + (400...500)\lambda^2,$$

где  $A_{\text{уд}}$  — удельная работа протаскивания, Дж;  $k = (0,5...1,5) \cdot 10^{-1}$  — удельное сопротивление почвы, Н/см<sup>2</sup>;  $a$  — глубина погружения деформатора в почву, см;  $B$  — суммарная площадь деформаторов, погруженных в почву, см<sup>2</sup>;  $\alpha$  — угол наклона деформатора, град.;  $(400...500)\lambda^2$  — коэффициент пропорциональности, кг/м<sup>3</sup> [5].

## Выводы

Достижение интенсивного крошения почвы ротационными орудиями с приводом от ВОМ трактора за счет использования двухбарабанной схемы построения связано с увеличением расхода энергии. Попытки его минимизации путем использования как одинаковых ножевых фрезбарабанов, так и разнотипных рабочих органов — фрезерных и зубовых с обратным направлением вращения — показали только их функциональную перспективность для получения крупнокомковатой структуры нижнего горизонта глубиной до 12—15 см, которую могут обеспечить Г-образные ножи, и мелкокомковатого поверхностного слоя глубиной 3—6 см, необходимого при возделывании мелкосеменных, в основном овощных, культур на грядах.

Одним из способов снижения энергоемкости такой обработки может быть создание бесприводных ротационных машин, использующих тяговую мощность двигателя трактора, путем кропотливого подбора кинематических и конструктивных параметров, в т. ч. направления вращения барабанов, формы и количества рабочих органов, правильного выбора дополнительных вспомогательных приспособлений — дисковых рабочих органов, катков или выравнивающих фартуков.

## Литература и источники

1. **Исходные** требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. — М.: Росинформагротех, 2005.
2. **Гуреев И. И.** Энергоемкость обработки почвы // Механизация, электрификация и автоматизация растениеводства. — 1988, № 3.
3. **Зволинский В. Н.** и др. Результаты испытаний ротационного бесприводного рыхлителя РБР-4 // Исследование и разработка почвообрабатывающих и посевных машин: Сб. науч. тр. ВИСХОМ. — М., 1990.
4. **Желиговский В. А.** Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов. — Тбилиси: Изд-во Грузинского СХИ, 1960.
5. **Синекоков Г. Н., Панов И. М.** Теория и расчет почвообрабатывающих машин. — М.: Машиностроение, 1977.