

Вывод

Выполненный анализ научно-технической литературы и исследований, в т.ч. ряда авторов, позволяют на стадии проектирования почвообрабатывающих фрез определять наиболее значимые их геометрические параметры (ширину захвата и диаметр фрезы, расположение привода, тип и расположение колес) и конструкцию фрезы с учетом достижений в современном тракторостроении и смежных областях науки и техники.

Литература

1. Попов Г.Ф. Обоснование диаметра фрезбарабана, формы рабочих органов и скоростных режимов работы фрез. Материалы НТС ВИСХОМ. Вып. 12. М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1963, с.129 – 145.
2. Циммерман М.З.. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 295 с.
3. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977, - 388 с.
4. Яцук Е.П. и др. Ротационные почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1971, - 256 с.
5. Матяшин, Гринчук И.М., Егоров Г.М. Расчет и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988, 176 с.
6. Далин А.Д., Павлов П.В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. – М., Машгиз, 1950. 252 с.

УДК 631.311

ОБОСНОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ФРЕЗ

Мащенко А.А., Машенский Ю.А., Синкевич П.Н., (БГАТУ)

На базе анализа технической литературы и исследований, в статье предпринята попытка обоснования кинетических параметров почвообрабатывающих фрез, получивших мировое распространение в последние годы.

Введение

Рабочими органами ротационных почвообрабатывающих машин являются фрезы, снабженные режущими ножами.

Для построения траектории движения ножа фрезы и сечения снимаемой стружки необходимо знать описанный диаметр ножа, окружную V_p и поступательную V_n скорости фрезы, а также глубину фрезерования фрезы.

В процессе работы ножи почвенных фрез совершают вращательное и поступательное движения. Траектория движения каждой точки ножа зависит от окружной и поступательной скоростей. У фрез с горизонтальной осью вращения траектория движения ножей представляет собой вытяжную циклоиду (трохоиду). Траектории движения двух последовательно работающих ножей и направлением движения фрезы определяются размеры и форма срезаемой почвенной стружки и другие кинематические параметры.

Основная часть

По способу вращения фрезы классифицируются на фрезы с прямым («сверху вниз») и обратным («снизу вверх») вращением, соответственно осуществляет попутное или встречное фрезерование почвы.

При попутном фрезеровании поступательная скорость трактора и угловая скорость вращения фрезы направлены в одну и ту же сторону, при встречном – в разные.

По вопросу выбора направления вращения фрезы у различных исследователей нет единого мнения. Суммируя опубликованные материалы [1...5], можно сделать следующие выводы. При обратном вращении фрезы горизонтальная составляющая R_n усилия резания почвы направлена в сторону, противоположную направлению движения агрегата (рис. 1, а) и создает дополнительное сопротивление. При рабочем передвижении при обратном вращении расходуется меньше мощности на фрезерование, чем при прямом, однако общая мощность, включая мощность и на преодоление сопротивления R_n , больше на 10...20 %. При обратном вращении нож начинает обрезать стружку с минимальной толщиной, что создает более плавную нагрузку на валу фрезы. Это обстоятельство, а также то, что вертикальная составляющая R_z усилия фрезерования почвы направлена сверху вниз, обеспечивает более устойчивый ход машины по глубине обработки. При одинаковой подаче обратное вращение дает меньшую гребнистость дна борозды и лучшее крошение почвы вследствие меньшей средней толщины отрезаемой стружки. Поэтому при одинаковых требованиях к степени крошения при обратном вращении можно работать на больших подачах, чем при прямом, и, следовательно, с большей производительностью.

Недостатком почвообрабатывающих машин с обратным вращением фрезы является наличие тягового сопротивления, что ухудшает проходимость агрегата, а также повышенная энергоемкость процесса. При работе фрезы с обратным вращением впереди нее образуется почвенный вал из-за отбрасывания почвы на ходу машины, что ухудшает качество обработки почвы и увеличивает энергозатраты.

Одним из серьезных недостатков работы с обратным вращением является неудовлетворительная заделка в почву растительных остатков. Попытки повысить качество заделки установкой дополнительной прутковой решетки не увенчались успехом. Обратное вращение фрезы имеет ограниченное применение на почвообрабатывающих машинах, предназначенных для работы на каменистых почвах и на полях после раскорчевки леса.

Большинство из отмеченных недостатков, присущих почвообрабатывающим машинам с обратным вращением фрезы, устраняются при использовании машин с прямым вращением фрезы. В этом случае горизонтальная составляющая R_t направлена по ходу движения агрегата (рис. 2, б) и фреза превращается в рабочий орган – движитель, тем самым значительно уменьшая тяговое сопротивление и энергоемкость процесса. Попутное фрезерование позволяет фрезе работать на каменистых почвах. Исключается образование почвенного вала впереди фрезы, существенно улучшается качество обработки почвы и заделки растительных остатков.

Изложенное дает основание выбрать прямое вращение фрезы, т.е. осуществлять попутное фрезерование почвы.

Для понимания процессов нагружения фрезы при различных способах фрезерования почвы рассмотрим эти процессы более подробно.

При встречном фрезеровании (рис. 1, а) обработка почвы, как отмечалось, производится снизу вверх, угловая скорость фрезы ω_f и линейная v машины направлены в противоположные стороны. Усилие фрезерования R_f раскладывается на вертикальную составляющую R_z , стремящуюся заглубить фрезу (заглубляющее усилие) и горизонтальную составляющую R_n (усилие подачи), направленную в сторону, противоположную движению агрегата.

Заглубляющее усилие R_z нагружает раму машины и воспринимается опорным (прикапывающим) устройством – колесами, барабаном, ползком, отбойной плитой и т.п., приводит к дополнительному увеличению сопротивления передвижению агрегата.

Усилие подачи R_n направленное в сторону, противоположную движению. На преодоление усилия подачи затрачивается часть тягового усилия трактора.

При попутном фрезеровании (рис. 1, б) обработка почвы ведется «сверху вниз», угловая скорость фрезы ω_f и линейная скорость машины направлены в одну и ту же сторону.

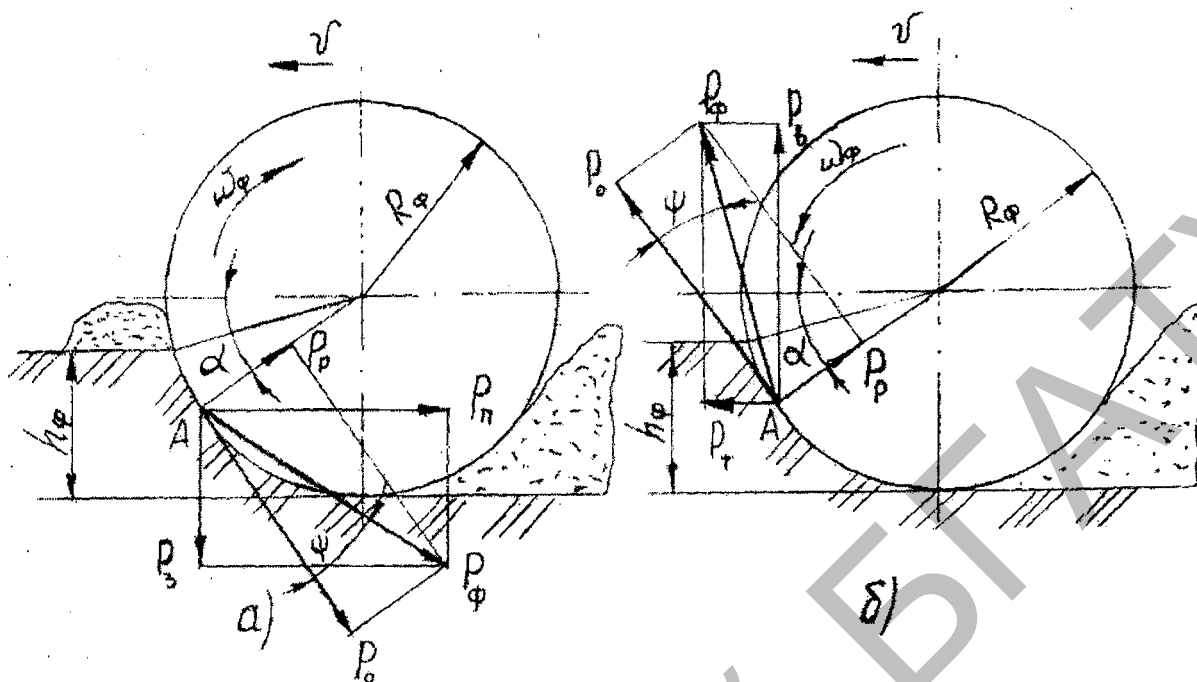


Рисунок 1. Схема нагружения фрезы:

а) – при встречном обратном; б) – прямом (попутном) фрезеровании почвы.

Усилие фрезерования P_f раскладывается на вертикальную составляющую P_b , стремящуюся выглубить фрезу (выглубляющее усилие). Выглубляющее усилие уменьшает вес (силу тяжести) рабочего оборудования, тем самым уменьшается сопротивление качению агрегата.

Усилие подачи (толкающее усилие) P_T направлено по ходу движения агрегата (рабочий орган – движитель), тем самым увеличивает тяговое усилие на крюке трактора (касательную силу тяги на движителях).

Из других преимуществ попутного способа, рекомендуемого к использованию для фрезерования почвы, следует дополнительно отметить значительное уменьшение пути выноса отфрезерованной почвы (не образуется почвенный вал перед фрезой) и уменьшение износа режущих элементов.

Так как основное требование при фрезеровании почв – качественное ее крошение и полное измельчение (уничтожение) сорняков, то для рассматриваемого случая наиболее целесообразно вращение фрезы «сверху вниз» [3].

Определение подачи на нож, толщины стружки и других кинематических параметров.

Важнейшим агротехническим показателем фрезерной обработки является степень крошения почвы, определяемая в основном подачей на один нож и толщиной отрезаемой стружки, а также постоянством глубины обработки, характеризуемым высотой h_T , гребней на дне борозды.

Выбор подачи на нож зависит прежде всего от типа почвы, ее связности, влажности и твердости. А.Д. Далин [6] приводит следующие ориентировочные данные о величине подачи и скорости резания при подготовке различных типов почв под посев ротационными почвообрабатывающими машинами (табл. 1).

Из таблицы видно, что один и тот же эффект можно получить либо подбирая различные подачи при скорости резания $v_p = 4...5$ м/с, либо устанавливая различные скорости резания при постоянной подаче $S = 5...10$ см.

Таблица 1. Ориентировочные величины подачи S на на нож и скорости резания v_p для различных типов почв [6]

Тип почвы	S (см) при $v_p = 4... 5$ м/с	v_p (м/с) при $S = 5...10$ см
Спеси, легкие суглинки (стерня)	12...20 и выше	2,5...3,5
Средний суглинок (стерня)	10...15	3...4
Тяжелый суглинок и глины (стерня) средний суглинок, дернина средняя и легкая(клевер)	6...10	4...5
Тяжелые глины (рисовое поле)	4...6	6...7
Моховое болото	5...8	5...6
Лугоболотная связная дернина толщиной 15...18 см	4...6	6...7
Осоковые кочки	3...5	7...8

По данным Л.С. Зенина [7] при фрезеровании орошаемых средних и тяжелых суглинков подача должна быть равна 7...10 см при окружной скорости фрезы 4,5...6 м/с. На старопахотных минеральных почвах подача может достигать до 10...15 см при скорости резания 4...5 м/с [8].

В работе [4] это объяснено следующим образом.

При обработке старопахотной почвы размеры комьев после прохода фрезы бывают значительно меньше, чем подача S , так как из-за малой связности такой почвы каждая стружка крошится на более мелкие части. Поэтому при обработке таких почв подача может выбираться довольно большой: $S = 10...12$ см.

Необходимая степень измельчения влажных задерненных почв, особенно луговых, может быть получена только при небольших подачах $S = 4.6$ см, так как отрезаемая стружка крошится плохо [4].

Для полевых и садовых фрез рекомендуемые агротехническими требованиями значения подачи S на один нож находятся в пределах 0,05...0,15 м [5].

На рисовых полях Краснодарского края было установлено, что при подготовке почвы под посев подача должна быть не более 4 см при прямом фрезеровании и не более 8 см при обратном, скорость резания при этом не менее 5...8 м/с [9].

В работе [3] в качестве ориентировочных данных рекомендуются следующие величины подачи на один нож для различных типов фрезерных почвообрабатывающих машин (табл. 2).

Таблица 2. Ориентировочные величины подачи на нож и глубина обработки почвы для различных типов фрезерных почвообрабатывающих машин

Тип машины	Подача S , см	Глубина обработки h_f , см
Пропашные фрезы (легкие)	5...10	-
Полевые и садовые фрезы (средние)	5...15	5...15
Болотные и лесные фрезы (тяжелые)	3...10	0...35
Ротационные плуги	15...25	15...30

У большинства современных фрез приняты следующие величины подачи: для задерненных почв – 4...8 см, для старопахотных – 10...15 см у фрезерных каналокопателей подачу берут равной 3...6 см [6]. В других работах отмечается, что пропашные и болотные фрезы работают с подачами 3...6 см, полевые – до 10...15 см, а ротационные плуги – до 20...25 см [2].

Приведенные данные показывают, что величина подачи значительно колеблется даже для машин одного назначения. Поэтому обычно задаются определенным диапазоном подач, охватывающим возможное многообразие обрабатываемых почв.

С точки зрения уменьшения энергетических затрат следует выбрать максимально возможную величину подачи, допустимую агротехническими требованиями по степени крошения почвы [3].

Из табл. 1 следует, что для большинства типов почв скорость резания не должна превышать 5...6 м/с и только для лесных почв, лугоболотной связной дернины и осоковых кочек скорость резания может быть увеличена до 7...8 м/с.

Кинематический параметр фрезы λ может быть определен по выражению [3]:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{\pi}{z} + \frac{\pi}{2}\right) \pm \arcsin\left(1 - \frac{h_r}{R_\phi}\right)}{\sqrt{2 \frac{h_r}{R_\phi} - \frac{h_\phi^2}{R_\phi^2}}}$$

где z – количество ножей в одной плоскости резания;

h_r – высота гребней на дне борозды.

При известных v_p и v_n кинематический параметр фрезы λ может быть определен по выражению:

$$\lambda = \frac{v_p}{v_n}$$

Высота гребней связывает основные параметры фрезы (R_ϕ , z и λ). Агротребованиями установлены отклонения от заданной глубины обработки не более ± 2 см на пахоте и ± 1 см на культивации. Большинство авторов рекомендует принимать $h_r \leq 0,2 h_\phi$ [3, 5, 10].

Задавшись допустимой высотой гребней $h_r = 4$ см, радиусом фрезы $R_\phi = 50$ см определяем значение $h_r/R_\phi = 4/50 = 0,087$. По этому значению при количестве режущих ножей в одной плоскости $z = 5$ по графику на рисунке 175 [3, стр. 245] получаем минимально допустимое значение кинематического параметра $\lambda = 3,5$. В качестве оптимальных в работе [4] рекомендуются значения $\lambda = 4...6$.

Как уже отмечалось выше, для первичной и основной обработки почвы наиболее широко используются фрезы с горизонтально-поперечной (по отношению к направлению движения агрегата) осью вращения. Модель процесса разработки почвы такой фрезой включает отделение ножом почвенной стружки от монолита, движения ножа совместно со стружкой и последующее ее отбрасывание. Основным показателем, регулирующим качество работы фрезы, является подача S на нож, рассчитываемая по формуле

$$S = 2\pi R_\phi / z \lambda \quad (1)$$

Как видим, подача на нож зависит от радиуса фрезы R_ϕ , числа ножей z и кинематического параметра λ .

Энергетические показатели фрезы зависят не только от параметров R_ϕ , z , λ , но и от скорости резания почвы, формы ножей и оптимальной их установки, которую определяют углом j установки ножа (рис. 2).

Все перечисленные параметры взаимосвязаны. Обычно в качестве критерия оптимизации их сочетания принимает минимум энергозатрат при обеспечении заданного качества обработки почвы.

Качество крошения почвы ножами фрезы зависит от подачи S и толщины t_c стружки, которую определяют по формуле [11]:

$$t_c = S \cos \arctg \frac{z(\lambda R_\phi - \lambda h_\phi - R_\phi)}{R_\phi (\lambda z \sin \beta_n - 2\pi)}, \quad (2)$$

где h_ϕ – глубина фрезерования;

β_n – угол начала резания, определяемый выражением

$$\beta_n = \arccos\left(\frac{R_\phi - h_\phi}{R_\phi}\right) \quad (3)$$

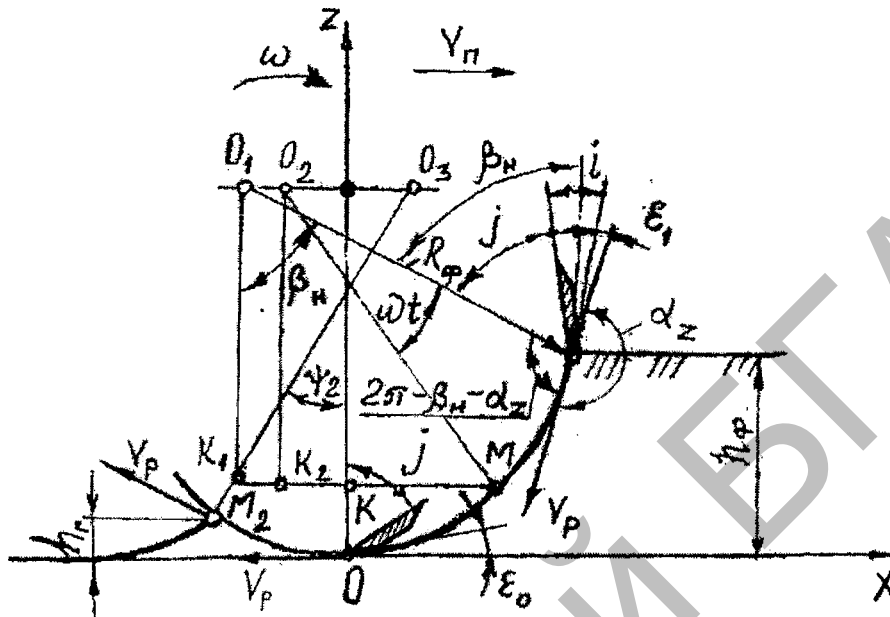


Рисунок 2. Кинематика чашечного ножа при фрезерной обработке почвы при прямом вращении фрезбарабана («сверху-вниз»)

Результат, расчетов, а также многочисленные эксплуатационные и аналитические исследования [5..8,11] показали, что расход энергии на ротационную обработку почвы (фрезерование) зависит больше всего от скорости резания: чем больше скорость, тем больше энергозатрат. Поскольку скорость резания

$$v_p = \frac{2\pi R_\phi n_\phi}{60} = \frac{2\pi R_\phi n_{\text{ВОМ}}}{60 i_{\text{мп}}}, \quad (4)$$

т.е. пропорциональна радиусу R_ϕ и частоте n_ϕ вращения фрезы, то прежде всего стремятся уменьшить радиус R_ϕ фрезы. Однако уменьшение R_ϕ ограничено конструктивным расположением заданного количества ножей на корпусе фрезы, а также пределами уменьшения угла j установки ножа, так как с уменьшением этого угла увеличивается угол β_n и затраты энергии на отделение, деформацию и отбрасывание стружки.

Аналитически это отражено в зависимости [11]:

$$\lambda = \frac{\pi + z \cdot \arccos(R_\phi - h_\Gamma / R_\phi)}{z \cdot \sin \arccos(R_\phi - h_\Gamma / R_\phi)} \quad (5)$$

где h_Γ – допускаемая по агротребованиям высота гребешков, образуемых на дне борозды. К примеру, при заданных $R_\phi = 0,50$ м и $z = 5$ высота гребешков h_Γ может быть принята в соответствии с рекомендациями [11], равной 0,015 м.

С точки зрения затрат энергии наиболее выгодные условия фрезерования получаются при заглублении барабана (0,71...0,83) D_ϕ , если фреза вращается «сверху вниз» и (0,8...0,91) D_ϕ , если она вращается «снизу вверх», т.е. между диаметром фрезы и глубиной обработки существует вполне определенное оптимальное соотношение [5]. Основная причина снижения затрат энергии при уменьшении диаметра фрезбарабана – уменьшение длины пути, проходимого ножом в почве, по сравнению с фрезой большего диаметра при одинаковой подаче на нож и глубине обработки.

Степень крошения почвы не зависит от диаметра фрезы. Уничтожения сорняков фрезой находится в пределах 94...96 %, что выше, чем при любом другом способе обработке почвы. При этом чем больше подача на нож, тем больше приживаемость сорняков после обработки почвы: при подачах на нож 0,048...0,07 м – 5...8 %, при подаче 0,118 м данный показатель резко повышается до 24...30 % [5].

В работе [6] отмечается, что одним из основных показателей технологического процесса фрезерования почвы является величина скорости резания, которая достигает 10... 12 м/с при обработке задернелых луговых и 4...6 м/с старопахотных почв. Это значительно выше, чем скорость резания пассивными рабочими органами, у которых она практически равна поступательной скорости движения агрегата (1...1,5 м/с).

Следует отметить, что в конструкциях фрез 30...50-х годов скорость резания была 8...12 м/с, а в большинстве современных конструкций она снижена до 3...6 м/с, т.е. вдвое [5]. По-видимому, этим можно частично объяснить и отрицательные выводы некоторых ученых в отношении нарушения структуры почвы фрезами. Распыление почвы заметно уменьшается при правильном применении фрезерных машин.

В других работах указывается, что скорость резания современных почвообрабатывающих фрез должна находится в пределах 4...6 м/с (без привязки к типу почвы и ее физико-механическим свойствам), поступательная скорость агрегата – не более 1,5 м/с.

Исходя из этого представляется целесообразным иметь минимум две скорости резания при фрезерной обработке различных почв:

v_c для задернелых и легких – 6...10 м/с, среднее значение 8 м/с;

v_c для старопахотных, залежных и тяжелых – 4...6 м/с, среднее значение 5 м/с.

При скорости резания $v_p = 8$ м/с и кинематическом параметре $\lambda_{\min} = 5$ максимальная рабочая скорость фрезерного агрегата $v_{\Pi \max}$ составит

$$v_{\Pi \max} = \frac{v_p}{\lambda_{\min}} = \frac{8}{5} = 1,6 \text{ м/с.}$$

С учетом скоростей передвижения тракторов семейства «Беларус» при обработке задернелых и легких почв со скоростью резания $v_{p2} = 9$ м/с поступательные скорости v_p агрегата будут находиться в пределах 0,6...1,5 м/с.

Тогда $\lambda = v_p / v_{\Pi} = 8 / 0,6...1,5 = 5,3...13$.

Соответственно при обработке старопахотных, залежных, средних и среднетяжелых почв со скоростью резания $v_p = 5$ м/с поступательные скорости v_{Π} будут находиться в пределах 0,6...0,8 м/с и $\lambda = 5 / (0,6...0,8) = 6...8,2$.

Подача на нож по (1) при $R_{\phi} = 0,5$ м и $z = 5$

$$S = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 / (5,3...13) \cdot 5 = 0,048...0,118 \text{ м.}$$

Вывод

Все полученные расчетным путем показатели достаточно хорошо согласуются с аналогичными показателями, рекомендуемыми в качестве оптимальных в работах [5, 6, 11], а также сводными данными по параметрам фрез для сплошной обработки почвы, приведенными в таблице 2, что свидетельствует о корректности выполненных расчетов и позволяет использовать их при проектировании почвообрабатывающих фрез и других машин аналогичного назначения.

Литература

1. Попов Г.Ф. Обоснование диаметра фрезбарабана, формы рабочих органов и скоростных режимов работы фрез. Материалы НТС ВИСХОМ. Вып.12. М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1963, с.129-145.
2. Циммерман М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. –М.: Машиностроение, 1978.-295с.