

УДК 631. 319

DOI: 10.47928/1726-9946-2020-20-1-33-39

Исследование и обоснование параметров и режимов работы пропашных фрез

Балкаров Р.А. – академик АМАН

Основными параметрами пропашных фрез следует считать: диаметр барабана фрезы, число ножей на одной стороне диска, величину соотношения между окружной и поступательной скоростями рабочих органов (или подачи на нож), момент инерции барабана фрезы.

Вопросы определения момента инерции фрезы достаточно подробно изучены и разработаны в работах А.Д. Далина, П.М. Василенко, И.М. Панова, И.С. Полтавцева, И.М. Гринчука, Ю.И. Матюшина, Г.Ф. Попова, Н.Ф. Канаева, Л.А. Шомахова, Ю.А. Шекичаева и др. [1, 3, 7, 8]

Данная статья посвящена исследованию и обоснованию первых трёх параметров.

В теоретических исследованиях использованы методы математического и численного анализа, теоретической механики.

Выбор величины соотношения между окружной и поступательной скоростями рабочих органов. Величина соотношения между окружной и поступательной скоростями рабочих органов связывает между собой конструктивные параметры R (радиус барабана) и z_c (число ножей на одной стороне диска) с агротехническими требованиями на обработку фрезой. Величина $\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_n}$ находится из выражения [2]:

$$\lambda = \frac{R}{\sqrt{2Rh_{\text{гр}}^T - (h_{\text{гр}}^T)^2}} \left[\frac{\pi(z_c + 2)}{2z_c} - \arcsin \frac{R - h_{\text{гр}}^T}{R} \right], \quad (1)$$

где $h_{\text{гр}}^T$ – величина теоретической гребнистости дна, R – радиус барабана фрезы. z_c – число ножей на одной стороне диска.

Конструктору неизвестна ни одна из трёх перечисленных величин. Величина теоретической гребнистости дна, которая берётся в качестве расчетной, может находится из соотношения

$$h_{\text{гр}}^T = kh_{\text{гр}}^{\partial}, \quad (2)$$

где $h_{\text{гр}}^{\partial}$ – допускаемая величина гребнистости дна, по агротехническим требованиям, k – коэффициент, учитывающий уменьшение теоретической высоты гребня при складывании стружки.

Величина k определяется для каждого типа почвы в отдельности. Коэффициент находится по этим зависимостям из соотношения:

$$k = \frac{h_{\text{гр}}^T}{h_{\text{гр}}^{\partial}}, \quad (3)$$

где $h_{\text{гр}}^{\partial}$ – действительная гребнистость дна.

Величину подачи определяет равенство действительной и допускаемой гребнистости дна. В результате полевых экспериментов найдено:

для среднего суглинка – $k = 2$,

для переувлажненного легкого суглинка – $k = 1,5$,

для среднего суглинка (целина) – $k = 0,85$,

для тяжелосуглинистых почв – $k = 1$.

Выбор величины диаметра барабана. При создании любых ротационных почвообрабатывающих машин перед конструктором, в первую очередь, встаёт вопрос о выборе величины диаметра барабана. Естественно, что конструктор стремится прийти к наименьшей величине диаметра барабана, поскольку, чем меньше диаметр барабана фрезы, тем меньше будет металлоемкость создаваемой им машины, тем меньше будет крутящий момент на валу барабана при одном и том же сопротивлении почвы.

Однако уменьшение диаметра барабана не может быть беспредельным. При выборе величины диаметра барабана фрезы необходимо учитывать следующие показатели:

а) технико-экономические (затраты мощности, металлоемкость и др.);

б) агротехнические.

Влияние величины диаметра барабана на энергоёмкость фрезы достаточно глубоко экспериментально исследовали П.В. Павлов и И.С. Полтавцев [3]. Результаты работ свидетельствуют о том, что при выборе величины диаметра энергетические показатели не являются определяющими. С точки зрения снижения металлоемкости, необходимо стремиться максимально уменьшить величину диаметра барабана.

С агротехнической точки зрения к величине диаметра барабана предъявляются более жесткие требования. При уменьшении диаметра барабана при одной и той же поступательной скорости фрезы потребуется увеличенное число оборотов барабана для сохранения постоянного режима работы фрезы. Увеличенное число оборотов барабана может сказаться на измельчении почвы. При увеличении диаметра барабана при одной и той же поступательной скорости потребуется меньшее число оборотов, что может благоприятно сказаться на измельчении почвы.

Работы профессора А.Н. Даниеляна [4] в области фрезерования металлов и профессора А.Д. Далина [3] в области резания грунтов свидетельствует о том, что при увеличении диаметра барабана при одной и той же подаче на нож происходит уменьшение толщины стружки. Степень измельчения почвы прежде всего зависит, по мнению проф. А.Д. Далина [3] от толщины стружки. Следовательно, при увеличении диаметра барабана мы увеличиваем опасность излишнего измельчения почвы.

Изменение числа оборотов барабана при изменении величины диаметра барабана несущественно сказывается на энергоёмкости фрезы и степени измельчения почвы.

Следовательно, при выборе диаметра барабана, определяющим показателем является величина стружки. Поэтому, в первую очередь необходимо исследовать зависимость толщины стружки от изменения величины диаметра барабана.

Но ведь практически нас не может интересовать работа ротора, если он не удовлетворяет требованиям агротехники. А именно это происходит, когда мы изменяем величину диаметра, а величину $\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_n}$ оставляем постоянной. Величина λ является одним из важнейших параметров ротационных почвообрабатывающих машин и она имеет вполне

определенное значение при выбранных конструктивных параметрах R и Z_c и зависит, к тому же, от конкретных почвенных условий. Необходимо исследование изменения толщины стружки при изменении величины диаметра барабана вести при сохранении режима работы, который соответствует требованиям агротехники. Это значит, что каждому значению диаметра барабана мы должны противопоставить вполне определенное значение величины λ или величины подачи на нож, а не оставлять их постоянными для величин диаметра барабана. Подсчитанные при этом условии величины толщины стружки будут сравнимыми, так как они найдены при постоянном режиме работы, соответствующем требованиям агротехники. Это требование можно выполнить двояким путём:

- 1) исследовать влияние диаметра барабана на толщину стружки при сохранении постоянной величины S/D ,
- 2) исследовать влияние диаметра барабана на толщину стружки при величине λ , которая соответствует требованиям агротехники при каждом значении диаметра барабана.

При исследовании влияния диаметра барабана на толщину стружки, при сохранении постоянной величины S/D , выражение $\lambda = \frac{2\pi R}{SZ_c}$, приведем к следующему виду:

$$\delta = \frac{2\pi\sqrt{2RH - H^2} \cdot R}{\lambda Z_c R} = 2S/D \cdot \sqrt{2RH - H^2}. \quad (4)$$

Для фрезы ФНП-2.8 и ФЕП-4.2 величина $S/D = 0,34$. Результаты прямо противоположны: в первом случае при увеличении диаметра барабана толщина стружки увеличивается. Зависимость $\delta_S = f(R)$ при $S/D = 0,34$ вскрывает истинную картину изменения δ_S при изменении диаметра барабана фрезы.

Вторым методом можно воспользоваться, если есть конкретные рекомендации по выбору величины λ .

Расчёты ведутся в следующем порядке: вначале находится λ – агротехнически для каждого значения диаметра по формуле:

$$\lambda = \sqrt{2Rh_{\text{гр}}^m - (h_{\text{гр}}^m)^2} \left[\frac{\pi(Z_c + 2)}{2Z_c} - \arcsin \frac{R - h_{\text{гр}}^m}{R} \right], \quad (5)$$

где R – изменяемая величина диаметра, Z_c – для большинства пропашных фрез, равное трём $h_{\text{гр}}^m = h_{\text{гр}}^p = Kh_{\text{гр}}^{\partial}$.

По результатам наших исследований можно принимать равным $h_{\text{гр}}^{\partial} = 2\text{см}$.

Затем из выражения

$$\delta_s = \frac{2\pi\sqrt{2RH - H^2}}{\lambda Z_c}, \quad (6)$$

при $H = \text{const}$ находится величина толщины стружки, которая соответствует данному значению R , при соответствии величины λ агротехническим требованиям.

Исследуя зависимость толщины стружки от других параметров, профессора А.Д. Далин [3] пришёл к выводу, что и толщина стружки по радиусу растёт с увеличением поступательной скорости и глубины фрезерования (при $h \leq r$), также с уменьшением

окружной скорости и количества ножей в секции.

Имея математическое выражение связи между толщиной стружки δ_s , величиной диаметра барабана D и глубиной обработки H , сформулируем стоящую перед нами задачу на математическом языке.

Необходимо найти, каким должно быть соотношение между H и R , чтобы значение функции было максимальным. Для этого выражение (6) продифференцируем по H :

$$\frac{d\delta_s}{dH} = \frac{2\pi}{\lambda Z_c} \cdot \frac{(R - H)}{\sqrt{2RH - H^2}}. \quad (7)$$

Для нахождения максимума функции $\delta_s = f(R_1 H)$ достаточно первую производную приравнять нулю:

$$\frac{2\pi}{\lambda Z_c} \cdot \frac{(R - H)}{\sqrt{2RH - H^2}} = 0,$$

$$\frac{2\pi}{\lambda Z_c} \neq 0 \quad \text{и} \quad \sqrt{2RH - H^2} \neq 0,$$

следовательно: $(R - H) = 0$, откуда видно, что при $H = R$ будет максимальная величина толщины стружки. При этом справедлива, очевидно, и обратная связь, что если при проектировании конструктор назначает величину радиуса барабана равной максимальной глубине обработки по агротребованиям, то машина будет работать при наиболее выгодных условиях с точки зрения качества крушения почвы, т. е. с максимальной толщиной стружки.

Наша задача – дать рекомендацию по выбору величины диаметра барабана пропашных фрез. Пропашные фрезы отечественных и зарубежных конструкций имеют секционное устройство. Привод каждого барабана секции осуществляется от общего трансмиссионного вала при помощи цепной или карданной передачи, заключённых в кожух. Крайняя точка кожуха от оси вращения барабана удалена на 3-5 см. Поэтому, если мы назначим $R = H_{\max}$, то кожух во время работы будет идти в необработанной зоне, что вызовет ничем неоправданные увеличения сопротивления. Чтобы избежать этого конструктор, имея необходимую максимальную глубину обработки по агротехническим требованиям, на проектировании должен увеличивать величину радиуса барабана по сравнению с H_{\max} на 3-4 см, т. е. для пропашных фрез конструктору придётся исходить не из соотношения $H : R = 1 : 1$, а из соотношения $R - H_{\max}$. При этом мы имеем незначительную потерю толщины стружки.

Зависимость толщины стружки от числа ножей на одной стороне диска. Вопросы выбора оптимального числа ножей на одной стороне диска имеют решающее значение при проектировании новых ротационных почвообрабатывающих машин. Профессор А.Д. Далин нашёл, что при уменьшении числа ножей на одной стороне диска будет обеспечиваться работа с большой толщиной стружки, но при этом потребуются большие окружные скорости при одной и той же величине диаметра барабана фрез. Это видно из выражения:

$$S = \frac{V_n 60}{n_\delta z_c}. \quad (8)$$

Для сохранения постоянного режима работы фрезы $S = \text{const}$ и $\lambda = \text{const}$, необходимо при уменьшении числа ножей на одной стороне диска соответственно увеличивать число оборотов барабана фрезы. Увеличение числа оборотов барабана фрезы, по общему признанию, является процессом нежелательным, поскольку, как было отмечено ранее, повышение числа оборотов барабана фрезы может вызвать излишнее измельчение почвы и повышенные энергозатраты.

При увеличении же числа ножей на одной стороне диска, согласно выражению

$$\delta_S = \frac{2\pi \cdot \sqrt{2RH - H^2}}{\lambda z_c},$$

толщина стружки будет уменьшаться, но зато потребуются меньшие окружные скорости рабочих органов при одной и той же величине диаметра барабана. Требования к выбору числа ножей на одной стороне весьма противоречивы: нам выгоднее работать с наибольшей толщиной стружки (это соответствует $z = \text{min}$) и с наименьшим числом оборотов барабана, что, напротив, соответствует $z = \text{max}$. Следовательно, необходимо найти оптимальное число ножей, чтобы толщина стружки была максимально возможной, число оборотов минимально возможным. Для этого исследуем зависимости $\delta_s = f_1(z)$ и $n_\delta = f_2(z)$. Однако, прежде всего, следует отметить, что метод исследования зависимости толщины стружки от числа ножей на одной стороне диска, предложенный проф. А. Д. Далиным, не может нас удовлетворить. Каждый параметр мы не можем рассматривать оторванно друг от друга. Они взаимосвязаны и обусловлены друг другом. Поэтому, если изменили один параметр, то вместе с ним в строгом соответствии должны изменить и другие связанные с ним параметры, и лишь после этого можно сравнивать полученные результаты. Так, исследуя зависимость

$$\delta_S = \frac{2\pi \cdot \sqrt{2RH - H^2}}{\lambda z_c}$$

мы должны принять R и H , число ножей изменять произвольно, а величину λ каждый раз приводить в соответствии с принятыми R и H и изменённой величиной z_c .

Схема расчетов аналогична предыдущей: при $R = \text{const}$ и $H = \text{const}$ находится величина λ из выражения (1) при каждом значении z_c , а затем уже n_δ по формуле (9).

Функция $n_\delta = f(z)$ вычисляется по формуле

$$n_\delta = \frac{V_n 30}{\pi \sqrt{2Rh_{\text{rp}}^m - (h_{\text{rp}}^m)}} \left[\frac{\pi(z_c + 2)}{2z_c} - \arcsin \frac{R - h_{\text{rp}}^m}{R} \right]. \quad (9)$$

При этом функция $n_\delta = f(z_c)$ исследуется также с учетом взаимосвязи различных параметров пропашных фрез.

Выбор режимов работы пропашных фрез. Задать режим работы ротационных почвообрабатывающих машин – значит выбрать величину соотношения между окружной и поступательной скоростями и величину поступательной скорости.

Академик М.Е. Мацепуро пишет: «Рабочие захваты и скорости устанавливаются, исходя из агротехнических, энергетических и технологических возможностей, которыми

предусматривается достижение высокой производительности и высокого качества работы» [5].

При выборе величины $\lambda = \frac{V_{\text{окр}}}{V_n}$ определяющими являются агротехнические показатели.

При выборе величины поступательной скорости определяющими являются энергетические показатели. Так, результаты опытов по выявлению влияния увеличения поступательной скорости на степень измельчения почвы при постоянном числе оборотов барабана, показывают, что при возрастании поступательной скорости от 2,8 до 6,85 км/час содержание частиц размером $< 0,25$ мм увеличивается незначительно: от 33,1% до 37,9% от общего числа веса почвы. При подаче $S = 13$ см увеличение поступательной скорости с 8,15 км/ч до 11,7 км/ч не вызывало существенного изменения количества частиц $< 0,25$ мм: при работе от 2,8 км/ч до 8,15 км/ч оно было в среднем 31,2%, при работе от 8,15 км/ч до 11,7 км/ч – 30,5%. Увеличение скорости в этих пределах не сказывается отрицательно и на степени уничтожения сорных растений.

После определения величины λ по формуле (1) и выбора оптимальной поступательной скорости фрезы, определяется окружная скорость ножей из выражения (9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Канаев Н.Ф. Роторный (фрезерный) культиватор для каменистых почв с обратным направлением вращения // Материалы НТС ВИСХОМ. М., 1965. Вып. 20. С. 84–88.
2. Докинула Б.Д. Теоретическое обоснование величины. Скоростное фрезерование минеральных почв // Сборник научно-исследовательских работ СибВим, 1963. Вып. 1. 156 с.
3. Далин А.Д. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. Машгиз, 1950. 125 с.
4. Даниелян А.М. Динамика фрезерования металлов. М., 1936. 98 с.
5. Маценуро М.Е. Вопросы земледельческой механики. Т. 1. Минск: Беглос-издат, 1959. 83 с.
6. Сурилов В.С. Исследование ротационных рабочих органов при междурядной обработке. Научный отчёт отдела почвообрабатывающих машин СибВИМ, 1962.
7. Полтавцев И.С. Фрезерные каналокопатели. Киев: Машгиз, 1954. 130 с.
8. Эрженев А.Н., Шекилачев Ю.А., Хажметов Л.М., Гергожаев Д.А., Сабанчиев Х.Х. Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров комбинированного пахотного агрегата // Научный журнал КубГАУ. № 77(03), С. 212.

ABSTRACT

The main parameters of row cutters should be considered: the diameter of the cutter drum, the number of knives on one side of the disc, the ratio between the peripheral and translational speeds of the working bodies (or feed to the knife), the moment of inertia of the cutter drum.

The issues of determining the moment of inertia of the cutter have been developed in sufficient detail. This article is devoted to the study and justification of the first three parameters.

Keywords: soil cutter, parameters, operating modes, drum diameter, feed to the knife.

FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik; rus.balkarov.52@mail.ru

© R. A. Balkarov, 2020

АННОТАЦИЯ

Основными параметрами пропашных фрез следует считать: диаметр барабана фрезы, число ножей на одной стороне диска, величину соотношения между окружной и поступательной скоростями рабочих органов (или подачи на нож), момент инерции барабана фрезы.

Вопросы определения момента инерции фрезы достаточно подробно разработаны. Данная статья посвящена исследованию и обоснованию первых трёх параметров.

Ключевые слова: почва фреза, параметры, режимы работы, диаметр барабана, подача на нож.

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, Нальчик; rus.balkarov.52@mail.ru

© Р.А. Балкаров, 2020