

Литература

1. ДСТУ 2189-93 Система стандартів безпеки праці. Машина сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки.
2. ГОСТ 12.2.019-86 Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности.

УДК 631.31

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОТАЦИОННЫХ
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ
БАЗОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА
ДЛЯ ИХ АГРЕГАТИРОВАНИЯ**

Мащенко А.А., Синкевич П.Н., Бобровник А.И. (БГАУ)

Сокращение сроков создания, повышение конкурентоспособности, экологической безопасности и эффективности использования высокопроизводительных фрезерных агрегатов требует проектирования и комплектования их с учетом взаимосвязи и взаимообусловленности различных элементов систем машин и процессов взаимодействия с окружающей средой на основе стратегии, нацеленной на достижение конечных результатов.

Правильно подобранный и скомплектованный фрезерный почвообрабатывающий МТА позволяет производить за один проход наиболее качественную подготовку почвы под посев сельскохозяйственных культур в различных природно-климатических и региональных условиях в наиболее короткие сроки с соблюдением всех агротехнических требований.

Потребная мощность N_{ϕ} двигателя базового энергетического средства при работе фрезы

$$N_{\phi} = \frac{N_{\phi}}{\eta_{пр.ф}} \quad (1)$$

где N_{ϕ} – мощность на фрезерование почвы;

$\eta_{пр.ф}$ – КПД трансмиссии привода фрезы.

Мощность, расходуемая на фрезерование почвы

$$N_{\phi} = B_3 K_{y\phi},$$

где $K_{y\phi}$ – удельная мощность на 1 м захвата фрезы B_3 .

По данным [1] удельная мощность на 1 м захвата почвообрабатывающих фрез для приближенных расчетов можно принимать 22...37 кВт; для ротационных плугов по данным [2] эта мощность составляет 37...55 кВт, болотных фрез 22...37, полевых – 11...15, пропашных – 7,5...15 кВт.

С другой стороны, мощность N_{ϕ} , потребляемая фрезой в работе, может быть определена по зависимости

$$N_{\phi} = P_{\phi}^{y\phi} V_p B_3, \quad (2)$$

где $P_{\phi}^{y\phi} = 35...45$ кН/м – удельное сопротивление при фрезеровании легких и средних почв;

V_p – рабочая скорость передвижения агрегата, м/с;

B_3 – рабочая ширина захвата фрезы (ширина обрабатываемой полосы), м.

При традиционных компоновке и трансмиссии привода почвообрабатывающих фрез

$$\eta_{пр.ф} = \eta_x \eta_y^{n_y} \eta_k^{n_k} \eta_{кр}^{n_{кр}} \eta_{\phi}, \quad (3)$$

где $\eta_x = 0,95$ - КПД, учитывающий потери в двигателе при холостом вращении коленчатого вала;

η_y и n_y – соответственно КПД и количество цилиндрических пар;

$\eta_y = 0,985$, $n_y = 3$;

η_k и n_k – то же конических пар;

$$\eta_k = 0,975, n_k = 1;$$

$\eta_{кр}$ и $n_{кр}$ – то же карданных передач;

$$\eta_{кр} = 0,99;$$

$$n_{кр} = 2;$$

$\eta_{\phi} = 0,85$ – КПД почвообрабатывающей фрезы.

Таким образом

$$\eta_{пр.ф} = 0,95 \cdot 0,985^3 \cdot 0,975 \cdot 0,99^2 \cdot 0,85 = 0,75.$$

При фрезеровании легких и средних почв и изменении параметров процесса в наиболее обоснованных пределах ($V_p = 0,3 \dots 1,5$ м/с, $p_{\phi}^{yo} = 35 \dots 45$ кН/м и постоянной ширине захвата $B_3 = 1,7$ м) мощность на фрезерование N_{ϕ} по зависимости (2) составит

$$N_{\phi} = (35 \dots 45)(0,3 \dots 1,5) \cdot 1,7 = 17,9 \dots 114,8 \text{ кВт.}$$

Потребная мощность двигателя для обеспечения технологического процесса работы почвообрабатывающей фрезы

$$N_{\delta} = \frac{17,9 \dots 114,8}{0,75} = 23,9 \dots 153,0 \text{ кВт.}$$

Соответственно при среднем значении $p_{\phi}^{yo} = 40$ кН/м

$$N_{\phi} = 20,4 \dots 102,0 \text{ кВт; } N_{\delta} = 27,2 \dots 136 \text{ кВт.}$$

Расчетные значения потребной мощности двигателя базового энергетического средства N_{δ} при фрезеровании средних дерново-подзолистых почв ($p_{\phi}^{yo} = 40$ кН/м) на глубину фрезерования $h_{\phi} = 25$ см сведены в таблице 1.

Таблица 1 - Потребная мощность двигателя энергетического средства (кВт) для работы почвообрабатывающих фрез

$B_3, \text{ м}$	Рабочая скорость $V_p, \text{ м/с}$											
	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,9	14,4	24,0	28,8	33,6	38,4	43,2	48,0	52,8	57,6	62,4	67,2	72,0
1,0	16,2	27,0	32,4	37,8	43,2	48,6	54,0	59,4	64,8	70,2	75,6	81,0
1,1	17,8	29,7	35,6	41,6	47,5	53,5	59,4	65,3	71,3	77,2	82,3	89,1
1,2	19,5	32,4	38,9	45,4	51,8	58,3	64,8	71,3	77,8	84,2	90,7	97,2
1,3	21,0	35,1	42,1	49,1	56,2	63,2	70,2	77,2	84,2	91,3	98,3	105,3
1,4	22,7	37,8	45,4	53,0	60,5	68,0	75,6	83,2	90,7	98,3	105,8	113,4
1,5	24,3	40,5	48,6	56,7	64,8	72,9	81,0	89,1	97,2	105,3	113,4	121,5
1,6	26,0	43,2	51,8	60,5	69,1	77,8	86,4	95,0	103,7	112,3	121,0	129,6
1,7	27,6	46,0	55,2	64,4	73,6	82,8	92,0	101,2	110,4	119,6	128,8	136,0
1,8	29,2	48,6	58,3	68,0	77,8	87,5	97,2	107,0	116,6	129,4	136,1	145,8
1,9	30,8	51,3	61,5	71,8	82,0	92,3	102,6	112,9	123,1	133,4	143,6	153,9
2,0	32,4	54,0	64,8	75,6	86,4	97,2	108,0	118,8	129,6	140,4	151,2	162,0
2,1	34,0	56,7	68,0	79,4	90,7	102,2	113,4	124,7	136,1	147,4	158,8	170,1
2,2	35,6	59,4	71,3	83,2	95,0	106,9	118,8	130,7	142,6	154,4	166,3	178,2
2,3	37,3	62,1	74,5	87,0	99,4	111,8	124,2	136,6	149,0	161,5	173,9	186,3
2,4	38,9	64,8	77,8	90,7	103,7	116,6	129,6	142,5	155,5	168,5	181,4	190,0
2,5	40,5	67,5	81,0	94,5	108,0	121,5	135,0	148,5	162,0	175,5	189,0	202,5
3,0	48,6	81,0	97,2	113,4	129,6	145,8	162	178,2	194,4	210,6	226,8	243

Фрезерование – процесс многофакторный. Затраты энергии на его осуществление зависят от конструктивных параметров фрезбарабана, режима работы и др. Известен целый ряд идентичных зависимостей по определению энергоемкости фрезерования.

Так, А.Д. Далин [3], развивая учение академика В.П. Горячкина, впервые предложил формулу для расчета мощности (в кВт) прицепной фрезы:

$$N_{\phi} = N_{рез} + N_{отб} + N_{пер} + N_{тр} \pm N_{под},$$

где $N_{рез}$, $N_{отб}$, $N_{пер}$, $N_{тр}$ и $N_{под}$ – затраты мощности соответственно на резание,

**Секция 1: Сельскохозяйственные машины и тракторы:
расчет, проектирование и производство**

отбрасывание почвы, перекачивание машины, трение в передачах трансмиссии и подгалкивание фрезы.

Чтобы использовать эти зависимости для определения мощности и других параметров необходимо иметь множество коэффициентов, полученных экспериментально. И хотя результаты, полученные по этим уравнениям, близки к действительным, однако из-за громоздкости их использование зачастую затруднено.

Недостаток известных методов расчета затрат энергии на обработку почвы ротационными машинами заключается в том, что в них не учтен основной показатель качества – степень крошения почвы, с которой тесно связаны такие важнейшие ее характеристики, как объемная масса, скважность, плотность и т.п.

В существующих ОСТАх на испытания почвообрабатывающих машин отсутствует объективный критерий, с помощью которого можно установить зависимость между затратами энергии на обработку почвы и степенью ее крошения. Необходимость изыскания такого показателя обусловлена еще и тем, что промышленностью освоено много машин с ротационными рабочими органами, которые за один проход агрегата обеспечивает конечный технологический эффект. Причем иногда эффект этот значительно больше, чем от нескольких последовательных традиционных операций по обработке почвы. Таким образом, в некоторых случаях эти машины способны заменить плуг, культиватор и борону, вместе взятые.

В таблице 2 приведены данные обработки результатов государственных испытаний эксплуатируемых и экспериментальной (ФНШ-1,5) фрез, а также обобщены результаты полевых испытаний бороны БРК-6 с коническими боронами на базе метода Риттингера. Последний, как известно, основан на положении, что работа, необходимая для измельчения материала, пропорциональна поверхности, образованной при измельчении. Метод Риттингера применим и к оценке рабочих органов для обработки почвы, в том числе фрез.

Таблица 2 - Результаты энергетической оценки ротационных машин с учетом качества крошения почвы [5]

Орудие	Обработка почвы	Удельная энергоёмкость $N_{y\phi} \cdot 10^5, \text{Вт/м}^3$	Общая поверхность F_x почвенных агрегатов в 1м^3 обработанной почвы, м^2	$\left(\frac{N_{y\phi}}{F_x}\right) \cdot 10^3, \text{Вт/м}^2$	$\left(\frac{1}{N_{y\phi}}\right) \cdot 10^{-6}, (\text{м}^3/\text{с}) \text{Вт}$
ФБН-0,9	фрезерование	3,78	295	1,28	2,65
ФБН-1,5	фрезерование	3,37	252	1,34	2,97
ФБН-2,0	фрезерование	3,0	222	1,35	3,34
ФНШ-1,5	фрезерование	2,65	314	0,85	3,77
КПГ-4 + БЗС-1	культивация и боронование	0,90	192	0,47	11,0
БИГ-3 (угол афронтальности 15°)	рыхление	0,75	272	0,27	13,5
БРК-6 (угол афронтальности 15°)	рыхление	0,77	355	0,22	13,0

Как видно из таблицы, поверхность почвенных агрегатов после обработки почвы фрезой ФНШ-1,5 и бороной БРК-6 больше, чем после обработки фрезой типа ФБН, агрегатом КПГ-4 + БЗС-1 и бороной БИГ-3, соответственно на 22%, в 1,85 и 1,3 раза.

Из зависимостей удельной эффективности $N_{y\phi}$ и длины пути рыхления l_p/h_ϕ от диаметра барабана D_ϕ при различных коэффициентах пропорциональности и двух способах фрезерования, приведенных в этой же работе, следует, что с увеличением D_ϕ/h_ϕ удельные затраты энергии и длина пути резания l_p увеличиваются. При значениях $D_\phi/h_\phi = 1,13 \dots 1,33$ (для фрезерования «сверху вниз») и при $D_\phi/h_\phi = 1,03 \dots 1,14$ (для фрезерования «снизу вверх») функции $N_{y\phi} = f(D_\phi/h_\phi)$ и $l_p/h_\phi = f(D_\phi/h_\phi)$ имеют минимум.

Таким образом, чем больше диаметр барабана D_ϕ по отношению к глубине обработки h_ϕ , тем менее выгодно применять такую фрезерную машину. Из сравнения двух способов фрезерования следует, что при небольших заглублениях барабана ($D_\phi/h_\phi > 2$) удельные затраты энергии меньше для фрезерования «сверху вниз», а при D_ϕ/h_ϕ , близком к оптимальному (1:1,33), они приблизительно одинаковы для обоих способов.

При расчете энергетических параметров фрез мощность, снимаемую с ВОМ базового трактора принимают не более 80% номинальной (паспортной) мощности N_δ двигателя. Поскольку рабочая скорость почвообрабатывающих машин невелика и находится в пределах 0,4...1,5 м/с, то затраты мощности на передвижение в мощностном балансе МТА не превышают 4%. Тяговое сопротивление ротационных машин незначительно и не оказывает существенного влияния на силу тяги на крюке трактора. Основная часть мощности N_ϕ , подводимой к фрезе, расходуется на измельчение пласта почвы площадью F_n и может быть определена по упрощенному выражению

$$N_\phi = n_y Q, \text{ кВт}$$

где n_y - удельная энергоемкость измельчения почвы кВт/(кг/с);

$$Q - \text{производительность, кг/с; } Q = V_n F_n \gamma = V_n B_3 h_\phi \gamma$$

V_n - поступательная скорость МТА, м/с;

B_3 - ширина захвата (длина) фрезы, м;

γ - плотность почвы, кг/м³;

h_ϕ - глубина обработки, м;

$$F_n = B_3 h_\phi - \text{площадь срезаемой стружки, м}^2.$$

В таблице 3 приведены расчетные энергетические показатели для некоторых фрезерных почвообрабатывающих машин и рекомендуемое средство для их агрегатирования.

Таблица 3 - Показатели почвообрабатывающих фрез и энергетические средства для их агрегатирования

D_ϕ , м	B_3^* , м	h_ϕ , м	F_n , м ²	N_ϕ , кВт	N_δ , кВт	N_ϕ/F_n , кВт/м ²	Средства для агрегатирования
1	2	3	4	5	6	7	8
0,8	1,2	0,20	0,24	38	45	158,0	Трактор тягового класса 1,4
1,0	1,5	0,25	0,375	60	72	160,0	«Беларус-1021» и модификации
1,0	2,0	0,25	0,50	80	96	160,0	«Беларус-1221» и модификации
1,0	2,5	0,25	0,625	100	120	160,0	Трактор тягового класса 3 «Беларус-1523» и модификации
1,0	3,0	0,25	0,75	120	144	160,0	Трактор тягового класса 5 «Беларус-2522» и модификации трактор; «Беларус-2002»
1,0	2,3	0,40	0,92	147	184	161,0	

* Указана максимальная ширина захвата

**Секция 1: Сельскохозяйственные машины и тракторы:
расчет, проектирование и производство**

Исходя из удельного сопротивления фрезерных обработки легких ($3...5 \text{ Н/см}^2$), средних и среднетяжелых почв ($5...7 \text{ Н/см}^2$) потребное тяговое усилие на крюке трактора при встречном фрезеровании приведено в таблице 4.

Таблица 4 - Расчетное тяговое усилие (Н) на крюке трактора при фрезерной обработке почв при удельном сопротивлении $K_{y\phi} = 5 \text{ Н/см}^2$

Глубина h_{ϕ} фрезерования, см	Ширина захвата фрезы B_3 , м							
	0,9	1,1	1,2	1,5	1,7	2,0	2,2	2,3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	9000	11000	12000	15000	17000	20000	22000	23000
25	11250	13750	15000	18750	21250	25000	27500	28750
30	13500	16500	18000	22500	25500	30000	33000	34500
35	15750	19270	21000	26250	29750	35000	38500	40250
40	18000	22000	24000	30000	34000	40000	44000	46000
45	20250	24750	27000	33750	38240	45000	49500	51750
50	22500	27500	30000	37500	42500	50000	55000	57500
60	27000	33000	36000	45000	51000	60000	66000	69000
70	31500	38500	42000	52500	59500	70000	77000	80500

Выполненные расчеты позволяют рекомендовать следующие обобщенные параметры почвообрабатывающих фрез при работе с тракторами семейства «Беларус» (таблица 5) при попутном фрезеровании почвы.

Таблица 5 - Обобщенные параметры почвообрабатывающих фрез, рекомендуемых для агрегатирования с тракторами семейства «Беларус»

Тяговый класс трактора	Номинальная мощность N_n двигателя, кВт	Мощность N_0 на обслуживание собственных систем и передвижение, кВт	Мощность на привод фрезы $N_n - N_0$	Мощность для реализации на фрезе N_{ϕ} , кВт	Глубина фрезерования, h_{ϕ} , см не более	Ширина захвата фрезы, B_3 , м
1,4	58,8	11,8	47,0	33,0	20...25	0,8...1,2
2,0	73,5	14,7	58,8	41,2	25...30	1,1...1,4
3,0	114	22,8	91,2	63,8	30...40	1,3...1,7
4,0	147	29,4	117,6	82,3	40...50	1,5...2,0
5,0	184	36,8	147,2	103,0	50...60	1,7...2,1
8,0	257	51,4	205,7	114,3	60...70	2,2...3,3

Примечание: $N_0 = 0,2N_n$; $N_{\phi} = (N_n - N_0) \cdot \eta_{mp}^{\phi} = (N_n - 0,2N_n) \cdot \eta_{mp}^{\phi}$; $\eta_{mp}^{\phi} = 0,7$; $N_{y\phi} = 28...42 \text{ кВт/м}$ при глубине h_{ϕ} фрезерования 20...35 см; $N_{y\phi} = 45...50 \text{ кВт/м}$ при $h_{\phi} = 40...60 \text{ см}$.

Следует отметить, что приведенные выше расчеты по определению параметров почвообрабатывающих фрез имеют преимущественно методическую направленность по ориентировочной оценке последних. Более точные рекомендации по конструкции и параметрам фрез могут быть даны только при агрегатировании их с определенной базовой моделью трактора семейства «Беларус» с учетом особенностей выбранной конструкции, массо-энергетических, геометрических и кинематических показателей и агротехнических требований на соответствующий вид работ, а также технологии возделывания сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных, климатических и хозяйственных условий.

Литература

1. Циммерман М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 295 с.
2. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977, - 388 с.
3. Далин А.Д., Павлов П.В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. – М., Машгиз, 1950. 252 с.
4. Конарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. – М.: Машиностроение, 1983, - 142 с.
5. Матяшин И.Н., Гринчук И.М., Егоров Г.М. Расчет и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988, 176 с.

УДК 631.363

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ШТАНГИ ОПРЫСКИВАТЕЛЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ АГРЕГАТА ПО ПОЛЮ

Биза Ю.С., Чижарев Ю.В., Крук И.С., Гайдуковский А.И. (БГАТУ)

Рассмотрен процесс колебаний штанги в горизонтальной плоскости, источником которых могут быть силы инерции, вызванные резкими изменениями скорости движения агрегата или копированием колес микронеровностей поверхности поля. Получены зависимости для анализа процесса изгиба несущей конструкции штанги и определения частот и амплитуд колебаний в зависимости от ее материала, массы и формы поперечного сечения.

Введение

Качество технологического процесса внесения пестицидов определяется равномерностью распределения рабочего раствора по поверхности обрабатываемого объекта в продольном и поперечном направлениях. Равномерность внесения определяется не только правильной работой распылителей, но и способностью конструкции штанги и ее крепления обеспечивать плавность хода в вертикальной и горизонтальной плоскостях при гашении возмущений, возникающих вследствие копирования колес опрыскивателя микронеровностей поля и резкими перепадами скорости движения агрегата. В результате чего неравномерность распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности может достигать 30...135% [1], что влечет за собой снижение эффективности химической защиты и повышение нагрузки на экологию окружающей среды. Поэтому исследования закономерностей процесса колебаний штанги является важным и актуальным и позволяет разработать рациональные системы ее стабилизации.

Основная часть

Рассмотрим горизонтальные колебания штанги, которые происходят в плоскости перпендикулярной вертикальной плоскости, т.е. в плоскости параллельной обрабатываемой земле. Источником таких колебаний могут быть силы инерции при изменении ускорения агрегата и силы, связанные с неровностью поверхности поля, неравномерной работой трансмиссии. Штанга представляет стержневую конструкцию, колебания которой носят сложный характер и поэтому их анализ с математической точки зрения тяжело описать. Будем исследовать упрощенную схему штанги. Рассмотрим штангу как упругий стержень, в двух точках которого сосредоточена масса колеблющихся частей штанги. Такое упрощение конструкции вполне допустимо для получения приближенных результатов. Для удобства плоскость колебаний балки расположим в вертикальной плоскости рис. 1.