



Рис. 6. Построение горизонтальных проекций касательных к линии двойной кривизны

ная проекция цилиндра; Cd — горизонтальная проекция с образующими aa', bb', cc' ; dE — развертка поверхности цилиндра на плоскость; прямая KM , наворачиваясь на цилиндр, образует кривую KN ; фронтальные проекции касательных в точках пе-

ресечения кривой с образующими $1, 2, 3$ будут касательные к фронтальной проекции цилиндра.

Построим эвольвенту TP направляющей цилиндра и возьмем на ней точки, лежащие на касательных $1', 2', 3'$, они определяют фронтальные следы касательных. Для получения горизонтальных проекций этих следов проектируем их на ось. Соединив их проекции соответственно с точками $1, 2, 3$, на горизонтальной проекции, получим горизонтальные проекции касательных.

Таким образом, методы начертательной геометрии позволяют достаточно точно графически построить развертывающиеся поверхности плужных корпусов при их проектировании.

Список литературы

1. Василенко, В.В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин: учеб. пособие / В.В. Василенко. — Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1994. — 288 с.
2. Фролов, С.А. Начертательная геометрия: учебник / С.А. Фролов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 284 с.
3. Клёнин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Клёнин, В.А. Сакун. — М.: Колос, 1980. — 672 с.

УДК 631.372

В.А. Самсонов, доктор техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ТРАКТОРА

Рассмотрим методику расчета основных параметров трактора общего назначения (номинальной мощности N_n , Вт, энергонасыщенности \mathcal{E} , Вт/кг, массы m , кг, тягового усилия $P_{кр}$, Н, рабочей скорости v , м/с) для заданной чистой производительности $\Pi = Bv$, м²/с (B — ширина захвата, м) по минимуму энергозатрат и максимуму тягового кпд.

Исходные данные: фон — стерня; операция — вспашка; ϵ_N — коэффициент загрузки двигателя по мощности (принимаем $\epsilon_N = 1$); кпд трансмиссии $\eta_{тр} = 0,9$; интервал изменения рабочей скорости $v = 1,4 \dots 4$ м/с; K_0 — удельное тяговое сопротивление при $v = 1$ м/с (5 км/ч), Н/м; ΔK — коэффициент, учитывающий возрастание удельного тягового сопротивления с увеличением v , м/с (принимаем среднее значение $\Delta K = 0,22$ в интервале $v = 5 \dots 15$ км/ч [1]); f — коэффициент сопротивления качению ($f = 0,1$ — для колесного трактора, $f = 0,08$ — для гусеничного); производительность Π зависит от длины гона L , м (функция $\Pi(L)$, найденная по минимуму приведенных затрат, приведена в табл. 1 [2]); буксование

$$\delta = a\varphi_{кр} / (b - \varphi_{кр}), \tag{1}$$

где a, b — коэффициенты, зависящие от фона и типа трактора (на стерне [3]: $a = 0,193, b = 0,919$ — для трактора 4К4а — с передними управляемыми колесами меньшего диаметра; $a = 0,11, b = 0,773$ — для трактора 4К46 — с колесами одинакового диаметра; $a = 0,0089, b = 0,777$ — для гусеничного трактора); $\varphi_{кр} = P_{кр} / mg$ — коэффициент использования силы тяжести трактора.

В качестве частных критериев оптимизации принимаем [4, 5]:

$$E = E_n + E_y \rightarrow \min; \tag{2}$$

$$\eta_r \rightarrow \max; \tag{3}$$

$$\delta \rightarrow \min \tag{4}$$

с учетом баланса мощности

$$\eta_{тр}\eta_{\delta}\epsilon_N N_n = P_{кр}v + mgfv, \tag{5}$$

где E_n — энергозатраты на обработку почвы, Дж/м²; E_y — энергозатраты на уплотнение почвы, Дж/м²; η_r — тяговый кпд; $\eta_{\delta} = 1 - \delta$ — кпд, учитывающий потери мощности на буксование.

Из (5) получим еще два частных критерия оптимизации:

$$F_1 = |\varphi_1/\varphi_2 - 1| \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$F_2 = |\varphi_3/\varphi_4 - 1| \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $\varphi_1 = \eta_{тр}\eta_{\delta}$; $\varphi_2 = \eta_{т} + gfv/\varepsilon_N\mathcal{A}$; $\varphi_3 = \eta_{тр}\eta_{\delta}\varepsilon_N N_H$; $\varphi_4 = P_{кр}v + mgfv$.

Энергозатраты

$$E_{п} = \varepsilon_N N_H / Bv, \quad (8)$$

откуда с учетом $B = P_{кр} / K_a$, $K_a = K_0[1 + \Delta K(v - 1,4)] = K_0\mu$ после преобразования получим:

$$E_{п} = K_0 k_{п}, \quad (9)$$

где K_a — удельное тяговое сопротивление с учетом увеличения v , Н/м;

$$k_{п} = \mu / \eta_{т} \quad (10)$$

— коэффициент энергозатрат $E_{п}$ — аналог (8);

$$\mu = 0,22v + 0,7 \quad (11)$$

— коэффициент, учитывающий увеличение K_a с ростом v .

Уплотняющее воздействие на почву оказывают касательная сила тяги P_k , Н, и сила тяжести трактора $G = mg$, Н. Принимаем допущение: силы P_k и G приложены в одной точке и действуют в одной плоскости. Так как их векторы перпендикулярны, то результирующая сила создает энергию уплотнения E_y , Дж/м², или Н/м, на расстоянии v , пройденном трактором за 1 с:

$$E_y = (P_k^2 + G^2)^{1/2} / v,$$

откуда после замены $P_k = P_{кр} + mgf$, $G = mg$; $m = N_H/\mathcal{A}$ и преобразования

$$E_y = K_0 k_{п} k, \quad (12)$$

где $k = g\Pi[(\varphi_{кр} + f)^2 + 1]^{1/2} / (\varepsilon_N \mathcal{A} v_t)$ — коэффициент, учитывающий уплотнение почвы (v_t — теоретическая скорость трактора, м/с).

Из (9) и (11) получим аналог (2):

$$k_E = E / K_0 = k_{п} + k_{п} k = k_{п} + k_y \rightarrow \min, \quad (13)$$

где k_E — коэффициент общих энергозатрат, $k_y = k_{п} k$ — коэффициент энергозатрат E_y .

Из баланса мощности (5) после преобразований найдем (3) в виде

$$\eta_{т} = \eta_{тр}\eta_{\delta} \rightarrow \max. \quad (14)$$

и коэффициент

$$\varphi_{кр} = \eta_{тр}\varepsilon_N \mathcal{A} / (gv_t), \quad (15)$$

где $\eta_f = 1 - gfv_t / (\eta_{тр}\varepsilon_N \mathcal{A})$ — КПД, учитывающий потери мощности на качение трактора.

Из (1) с учетом (15)

$$\delta = a \frac{(\eta_{тр}\varepsilon_N \mathcal{A} - f) / (gv_t) - f}{b + f - \eta_{тр}\varepsilon_N \mathcal{A} / (gv_t)}. \quad (16)$$

Расчеты показали, что функция (13) имеет минимум: для колесного трактора по буксованию — $k_E(v_t) \rightarrow \min$. Примеры расчета $k_E(\delta)$ и $k_E(v_t)$ представлены в табл. 2 и 3.

Порядок расчета $k_E(\delta)$ при $\Pi = \text{const}$ и $\mathcal{A} = \text{const}$ (алгоритм 1): для каждого значения δ , изменяемого с шагом 0,01, изменяем методом дихотомии v в интервале 1,5...4 м/с и минимизируем (6), находим μ по формуле (11), $\varphi_{кр} = b\delta / (a + b)$, $\eta_f = \varphi_{кр} / (\varphi_{кр} + f)$, $\eta_{т}$ по формуле (14), $k_{п}$ по формуле (10), k, k_E по формуле (13), η_1, η_2, F_1 (F_1 имеет порядок 10^6). Минимум k_E соответствует критерию (14).

Порядок расчета $k_E(v_t)$ при $\Pi = \text{const}$ и $\mathcal{A} = \text{const}$ (алгоритм 2): v_t изменяем в цикле, для каждого значения v_t находим δ по формуле (16), $\eta_{\delta} = 1 - \delta$, $\varphi_{кр}$ по формуле (15), $\eta_f, \eta_{т}$ по формуле (14), μ по формуле (11), где $v = v_t \eta_{\delta}$, $k_{п}$ по формуле (10), k , где $v = v_t \eta_{\delta}$, k_E по формуле (13).

Алгоритм 1 используем для расчета функции $k_E(\mathcal{A}, \Pi)$ (табл. 4): \mathcal{A} подбираем такой, чтобы минимум k_E совпадал с максимумом $\eta_{т}$.

Таблица 1

Функция $\Pi(L)$ на вспашке

L, м	<150	150...200	200...300	300...400	400...600	600...1000	>1000
$\Pi, \text{м}^2/\text{с}$	2,18	2,68	3,13	3,79	4,04	4,54	5,90
(га/ч)	(0,79)	(0,97)	(1,13)	(1,37)	(1,46)	(1,64)	(2,13)

Таблица 2

Выпуклая функция $k_E(\delta)$ по критериям $F_1 \rightarrow \min$ и $\eta_{т} \rightarrow \max$ (колесный трактор; $\Pi = 2 \text{ м}^2/\text{с}$; $\mathcal{A} = 14 \text{ Вт/кг}$)

	δ	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14
4К4а	$k_{п}$	2,141	2,077	2,026	1,985	1,951
	k_E	3,302	3,280	3,273	3,276	3,289
	δ	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
4К4б	$k_{п}$	2,070	2,003	1,952	1,912	1,881
	k_E	3,204	3,181	3,175	3,180	3,195

Таблица 3

Выпуклая функция $k_E(v_t)$ по критерию $k_E \rightarrow \min$ (гусеничный трактор; $\Pi = 2 \text{ м}^2/\text{с}$; $\mathcal{A} = 14 \text{ Вт/кг}$)

$v_t, \text{м/с}$	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$k_{п}$	1,225	1,261	1,297	1,334	1,371	1,409
k_E	2,455	2,439	2,433	2,435	2,441	2,452

Таблица 4

Функции $k_{\Pi}(\mathcal{E}, \Pi)$ и $k_E(\mathcal{E}, \Pi)$ по критериям $F_1 \rightarrow \min$ и $\eta_T \rightarrow \max$ (колесный трактор)

Тип трактора	Показатели	$\Pi, \text{ м}^2/\text{с}$				
		2	3	4	5	6
4К4а $\delta = 0,12$ $\eta_{T \max} = 0,6169$	$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	14	15,3	16,9	18,2	19,4
	k_{Π}	2,026	2,109	2,210	2,293	2,370
	k_E	3,273	3,738	4,077	4,381	4,648
4К4а $\delta = 0,1$ $\eta_{T \max} = 0,6370$	$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	14	15,4	17	18,4	19,6
	k_{Π}	1,952	2,037	2,135	2,220	2,293
	k_E	3,175	3,619	3,949	4,233	4,492

Таблица 5

Функции $k_E(\mathcal{E})$ и $k_{\Pi}(\mathcal{E})$ по критериям $k_E \rightarrow \min$ и $\eta_T \rightarrow \min$ (гусеничный трактор; $\Pi = 2 \text{ м}^2/\text{с}$)

$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	10	11	12	12,5	12,6
k_{Π}	1,407	1,375	1,345	1,333	1,331
k_E	3,034	2,837	2,678	2,608	2,595
δ	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$

Таблица 6

Функции $k_{\Pi}(\mathcal{E}, \Pi)$ и $k_E(\mathcal{E}, \Pi)$ по критериям $k_E \rightarrow \min$ и $\eta_T \rightarrow \min$ (гусеничный трактор)

Показатели	$\Pi, \text{ м}^2/\text{с}$				
	2	3	4	5	6
$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	12,5	14,3	15,8	17	18,1
k_{Π}	1,333	1,400	1,455	1,497	1,537
k_E	2,608	1,532	3,193	3,432	3,640
δ	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$

Таблица 7

Показатели тракторов по критериям $F_2 \rightarrow \min$, $F_{\Pi} \rightarrow \min$ и $\eta_T \rightarrow \max$ в зависимости от длины гона (средняя почва, $K_0 = 18\,000 \text{ Н/м}$)

Тип трактора	Показатели	$L, \text{ м} (\Pi, \text{ м}^2/\text{с})$				
		<150 (2)	150...300 (3)	300...600 (4)	600...1000 (5)	>1000 (6)
4К4а $\delta = 0,12$ $\eta_{T \max} = 0,6169$	$[N_H, \text{ кВт}]$	[73]	[114]	[159]	[206]	[256]
	$N_H, \text{ кВт}$	75	110	160	203	252
	$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	14,90	14,18	17,09	17,61	18,83
	$m, \text{ кг}$	5032	7759	9364	12 528	13 382
	$P_{кр}, \text{ Н}$	17 393	26 819	32 367	39 844	46 252
	$v, \text{ м/с}$	2,66	2,53	3,05	3,14	3,36
4К4б $\delta = 0,1$ $\eta_{T \max} = 0,6370$	$[N_H, \text{ кВт}]$	[71]	[110]	[154]	[200]	[248]
	$N_H, \text{ кВт}$	75	110	160	203	252
	$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	16,16	15,40	18,44	18,98	20,26
	$m, \text{ кг}$	4642	7144	8678	10 693	12 438
	$P_{кр}, \text{ Н}$	16 762	25 798	31 338	38 614	44 914
	$v, \text{ м/с}$	2,85	2,72	3,25	3,35	3,57
Гусеничный $\delta = 0,12$ $\eta_{T \max} = 0,7702$	$[N_H, \text{ кВт}]$	[48]	[76]	[105]	[135]	[166]
	$N_H, \text{ кВт}$	48	75	110	135	160
	$\mathcal{E}, \text{ Вт/кг}$	11,34	12,83	16,54	15,79	15,30
	$m, \text{ кг}$	4232	5848	6652	8547	10 457
	$P_{кр}, \text{ Н}$	24 879	34 375	39 102	50 244	61 474
	$v, \text{ м/с}$	1,49	1,68	2,17	2,07	2,00

По алгоритму 2 для гусеничного трактора находим минимум k_E с учетом критерия (4). Пример расчета представлен в табл. 5 при $\Pi = 2 \text{ м}^2/\text{с}$: минимум k_E и соответствующая \mathcal{E} определяются минимальным положительным буксованием. С учетом этого определены функции $k_E(\mathcal{E}, \Pi)$ и $k_{\Pi}(\mathcal{E}, \Pi)$ (табл. 6, v_T изменяем методом дихотомии).

С использованием k_{Π} из табл. 4 и 6 по формулам (9) и (8) находим $[N_H]$ (табл. 7, средняя почва, сопротивление плуга — $60\,000 \text{ Н/м}^2$, глубина вспашки — $0,3 \text{ м}$, $K_0 = 18\,000 \text{ Н/м}$, значения $[N_H]$ округлены до целых чисел). Для уменьшения номенклатуры двигателей из полученного ряда $[N_H]$ выделяем семь групп: 48, 71, 73, 76; 105, 110, 114, 135, 154, 159, 166, 200, 206, 248, 256. Для каждой группы находим среднее значение N_H : 48, 75, 110, 135, 160, 203, 252 кВт.

Используем полученные значения N_H для определения остальных показателей (табл. 7). Порядок расчета (алгоритм 3): δ изменяем в цикле, для каждого δ изменяем методом дихотомии v

в интервале 1,5...4 м/с, находим $B = P/v$, μ по формуле (11), $K_a = \mu K_0$, $P_{кр} = K_a B$, $\varphi_{кр} = b\delta / (a + b)$, $m = P_{кр} / (\varphi_{кр} g)$, $\vartheta = N_n / m$, φ_3 , φ_4 , минимизируем F_2 по формуле (7) (F_2 имеет порядок 10^{-6}).

Список литературы

1. Иофинов, С.А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов, Э.П. Бабенко, Ю.А. Зуев. — М.: Агропроиздат, 1985. — 272 с.
2. Зангиев, А.А. Оптимизация состава и режимов работы машинно-тракторных агрегатов по критериям

ресурсосбережения: дис. ... д-ра техн. наук / А.А. Зангиев. — М., 1987. — 520 с.

3. Зангиев, А.А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, Г.П. Лышко, А.Н. Скороходов. — М.: Колос, 1996. — 320 с.

4. Зангиев, А.А. Оптимизация энергонасыщенности трактора с учетом уплотняющего воздействия на почву / А.А. Зангиев // Техника в сельском хозяйстве. — 2000. — № 2. — С. 34–36.

5. Самсонов, В.А. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В.А. Самсонов [и др.]. — М.: Колос, 2000. — 248 с.

УДК 620.197.2:547.1–32

Л.Ю. Дёмина, канд. биол. наук

А.Л. Дмитриевский

Е.А. Улюкина, канд. хим. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

АНТИКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ ТРИТЕРПЕНОВЫХ КИСЛОТ

Вследствие коррозионных разрушений ежегодно выходят из строя конструкции, в которых столько же металла, сколько дает 1/3 мощности металлургической промышленности. Часть металла, заключенного в выходящих из строя металлоконструкциях, возвращается в металлооборот путем переплавки, а около 10...15 % общего объема ежегодно добываемого металла распыляется и составляет невозвратимые потери [1]. Особенно сильно атмосферной коррозии подвергаются транспорт, военная и сельскохозяйственная техника, эксплуатация, а часто и хранение которой происходит на открытом воздухе.

По данным Бюллетеня информационно-консультационной службы АПК МО (вып. 2, 2001), в агропромышленном комплексе страны находится около 950 тыс. тракторов, 240 тыс. зерноуборочных комбайнов, 70 тыс. кормоуборочных машин, 30 тыс. поливальных машин. За исключением тракторов и автомобилей, используемых в растениеводстве, сельхозмашины работают от 150 до 400 ч в году, а остальное время бездействуют, поэтому, учитывая их высокую стоимость, необходимо соблюдать технологии консервации и защиты от коррозии.

Для этого в период их эксплуатации и хранения используются ингибиторы, причем в последние годы возрастает спрос на экологически безопасные природные ингибиторы коррозии, получаемые из растений, используются достаточно давно [2, 3]. Доказана высокая эффективность модифицированного растительного сырья в различных областях техники, в том числе в качестве ингибиторов коррозии черных металлов [4], поэтому была изучена

способность натриевых солей тритерпеновых кислот, выделяемых из хвои пихты, снижать скорость коррозии низкоуглеродистой стали Ст. 3 в водном растворе при различных значениях рН. Кислотная среда создавалась добавлением соляной кислоты. Для проверки защитной способности ингибиторов коррозии, согласно требованиям ГОСТ 9.506, использовали гравиметрический метод. Образцы стали помещали в водные растворы HCl с различными значениями рН при различных концентрациях натриевых солей тритерпеновых кислот. Результаты гравиметрических испытаний ингибитора представлены в таблице.

При добавлении смеси солей тритерпеновых кислот в раствор соляной кислоты резко снижается скорость коррозии стальных образцов. Вероятно, молекулы или ионы ингибитора электростатически или химически взаимодействуя с поверхностью металла, закрепляются на ней, что приводит к торможению коррозионного процесса. Наиболее значительное снижение скорости коррозии наблюдается в интервале рН от 4 до 7 (с увеличением концентрации ингибитора от 0 до 0,2 г/л скорость коррозии образцов стали снижается от 100 до 370 раз).

Оценку эффективности ингибитора проводили по степени защиты Z (защитный эффект). Полученные данные позволяют утверждать, что ингибитор относится к классу высокоэффективных в слабых кислых средах при рН от 4 до 7. В этих условиях обеспечивается степень защиты 90 % при концентрации ингибитора менее 50 мг/л, характер коррозии — равномерный; язв, питтингов не наблюдалось. При более высокой кислотности такой же