

РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОЧВООБРАБОТКЕ ПЛУГОМ

THE CALCULATION OF SIDE SLIP ANGLES AND FORCES ACTING ON THE FIELD BOARDS OF SEMI-MOUNTED PLOUGH

Г. С. Горин,
профессор БНТУ, д-р техн. наук, профессор

А. А. Сильченко,
заместитель председателя ГКНТ, канд. техн. наук

Г. Ф. Бетень,
зав. отделом НИИ при БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Предложена методика расчета названных углов и усилий, позволяющая установить причины, влияющие на ускоренный износ полевых досок шарнирно и несимметрично присоединенного полунавесного плуга. Введены понятия углов увода и полюса трения полунавесного плуга, а также углов увода его корпусов. Рассчитаны усилия, действующие в шарнирах крепления корпусов к раме, а также в шарнире крепления рамы к трактору при несимметричном креплении плуга. Установлены, что названные усилия зависят от эксплуатационных настроек пахотного агрегата.

The method of calculating this side slips angles and efforts to determine the cause affecting the accelerated wear of the field boards pivotally attached asymmetrically semi-mounted plough. The concepts of side slip angles of the plough furrows and pole friction semi-mounted plough. Calculated the forces acting in the joints of the attachment of the frame and the frame attachment to the tractor with a plough pivotally attached asymmetrically. Established that the aforementioned efforts depend on the performance settings arable unit.

При решении названной задачи большинство исследователей ограничивается анализом составляющих, входящих в обобщенную зависимость В. П. Горячкина. Это не позволяет моделировать процессы, происходящие в контакте. Как следствие, из подобных расчетов не вытекают конкретные рекомендации по выбору деталей плуга, лемеха, отвала, полевой доски и их покрытий.

Цель данного расчета — изучить возможности снижения энергозатрат, а также повы-

шения износостойкости названных деталей плуга путем нанесения на них покрытий для снижения, в частности, коэффициента трения.

Расчетные схемы

Для названного анализа составляющие снижения энергозатрат используются элементы нетрадиционной методики, предложенные в работах [1, 2], представленные на рис. 1–3.

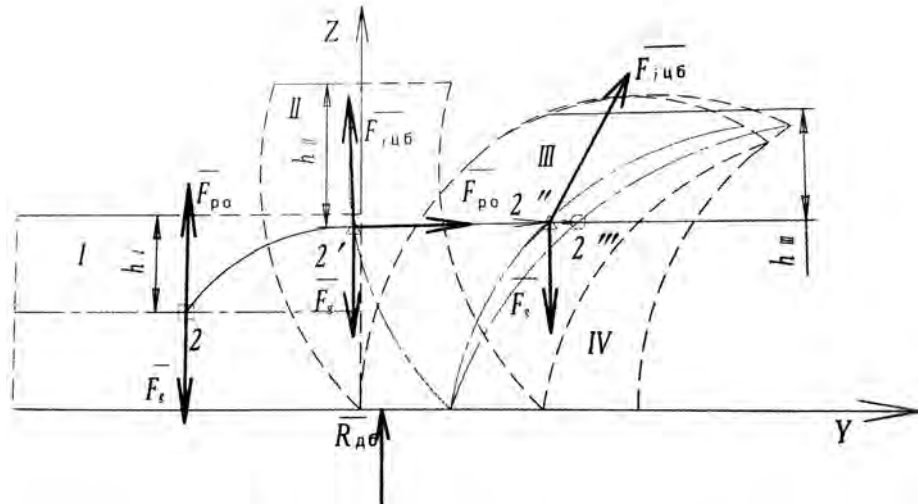


Рис. 1. Схема к расчету перемещений отделенного пласта почвы

В отличие от принятых кинематических схем [3, 4], предложены расчетные схемы, учитывающие деформации пласта. В поперечной плоскости рассматриваются четыре положения отделенной части пласта:

- в начальном положении I рассматривается параллелепипед с шириной b и высотой a , центр параллелепипеда находится в точке 2 (рис. 1);
- в положение II параллелепипед приходит, поворачиваясь на угол ψ_{I-II} вокруг крайней точки B , при этом — центр тяжести параллелепипеда (точка 2) оказывается над точкой B . При повороте пласта почва испытывает деформации изгиба, сдвига, сжатия и растяжения (рис. 2, а); высоту подъема центра тяжести пласта принимаем с учетом осадки;

– в положение III параллелепипед приходит, поворачиваясь вокруг крайней точки B'' (рис. 3) на угол ψ_{II-III} , при этом центр масс окажется над точкой B'' и поднимется с учетом деформаций на высоту;

- в положение IV центр пласта приходит на расстоянии l_{2k} , на котором энергия разгона пласта поглощается, то есть пласт тормозится.

В процессе перемещения носка лемеха возникает сила трения, вызывающая в почве напряжение сдвига σ_{cd} , вблизи полевого обреза возникают напряжения смятия $\sigma_{см}$, растяжения σ_p , среза $\sigma_{ср}$ и сдвига σ_{cd} в разных плоскостях (рис. 3). Быстрое разрушение почвы сдерживает армирование поверхностных слоев корнями.

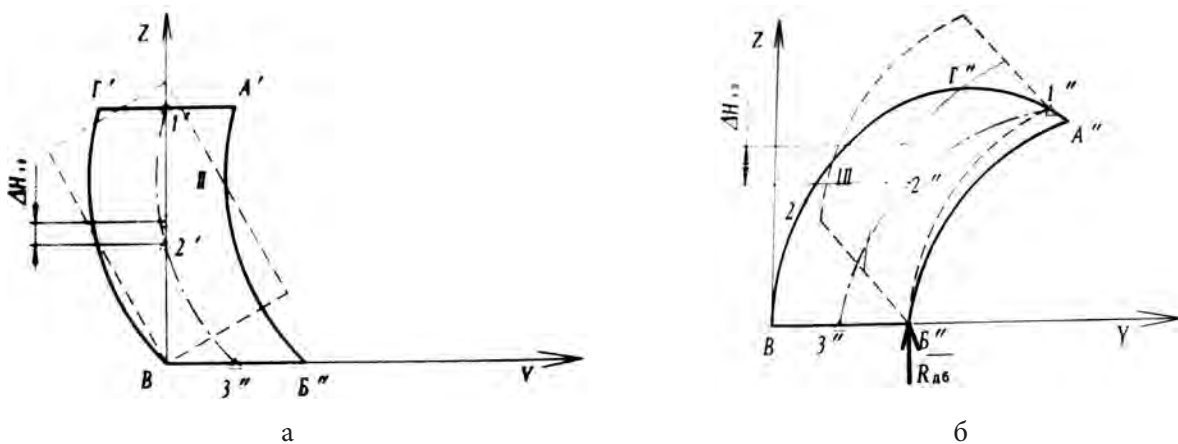


Рис. 2. Расчетные схемы деформаций пласта: а — центр тяжести пласта находится над точкой B ; б — центр тяжести пласта находится над точкой B''

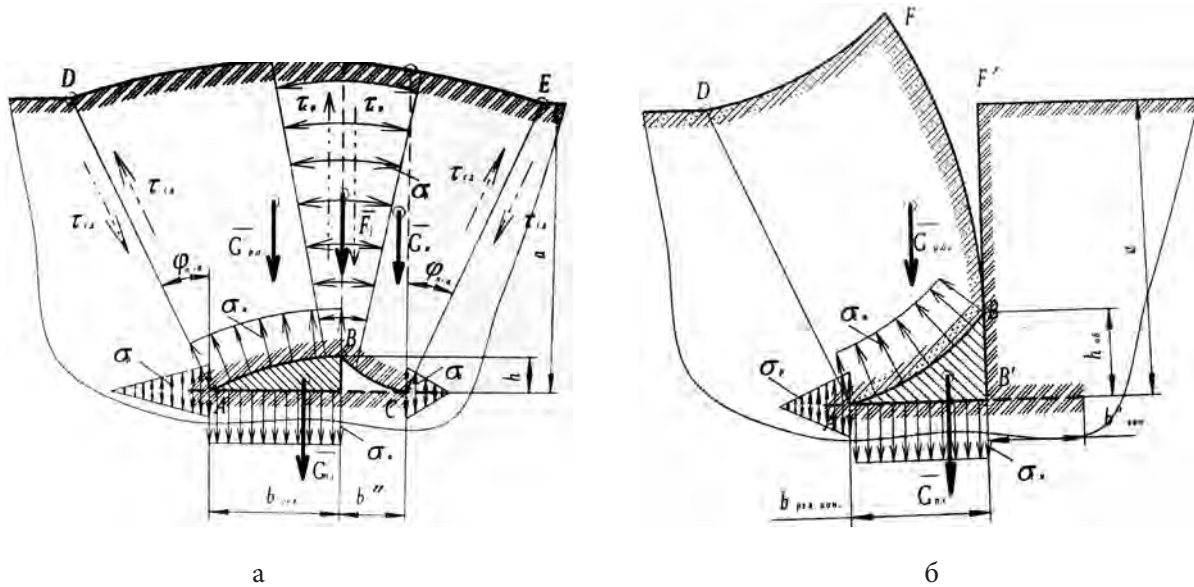


Рис. 3. Расчетные схемы сил, напряжений и деформаций пласта лемехом в поперечной плоскости: а — пласт не отделен от полевого обреза, б — пласт отделен от полевого обреза

Методика предусматривает расчет составляющих энергозатрат при вспашке пласта почвы объемом $V_{пл} = 1 \text{ м}^3$ на глубину $a = 0,20 \text{ м}$ и ширину $b = 0,35 \text{ м}$. Для обработки объема $V_{пл} = 1 \text{ м}^3$ почвы корпус с названными параметрами должен продвинуться на расстояние $S_p = 14,28 \text{ м}$. При скорости $V = 2 \text{ м/с}$ время движения $t_p = 7,14 \text{ с}$.

В зоне контакта лемеха с почвой нормально опорной поверхности плужной борозды приложена часть общего веса плуга $G_{пл}^a = K_{пл}^a G_{пл}$ и части веса пласта почвы, оборачиваемая $G_{ро}$ и приподнимаемая в массиве G_M (рядом с плугом). Между оборачиваемым и приподнимаемым пластами ВСНФ находится боковая площадь среза BF (см. рис. 3). Срез происходит в вертикальном направлении:

$$\tau_{cp} = G_M / S = \frac{g\rho(S_{ВСНФ} + S_{СЕН})}{a},$$

где $S_{ВСНФ} = ab_{кон}^n$, $S_{СЕН} = \alpha^2 \sin \varphi_{n-n}$.

Напряжения среза почвы относительно малы. Они не превышают предела прочности $\tau_{cp} = 40 \text{ кПа}$, тем более что почва армирована корнями растений. Растяжение почвы происходит в треугольнике ΔBFH с углом $\psi_{пл}$ при вершине.

Сдвиг почвы в продольной плоскости происходит в горизонтальном направлении и по

линиям сдвига, направленным по линиям сдвига, направленным по нормальям к поверхности лемеха с учетом образования на носке лемеха ядра уплотнения [3] и трения в контакте.

Силу внедрения лемеха в почву с учетом силы трения определим по формуле:

$$F_{внедр} = F_{лем} + F_{тр},$$

где $F_{лем} = \sigma_{см} S_{лем}$, $F_{тр} = \varphi_{пл} K_{пл}^a (G_{ро} + G_M + G_{пл})$, $\varphi_{пл}$ — коэффициент трения плуга примем равным коэффициенту трения стали по почве ($\varphi_{пл} = 0,5$) [3].

Площадь щели лемеха примем равной:

$$S_{лем} = \frac{hb_{лем}}{2} = \frac{0,065 \cdot 0,10}{2} = 3,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Остальные расчеты провели в соответствии с алгоритмом, приведенным в табл. 3 и 4.

К пласту приложены силы (рис. 4):

- F_g — объемная сила тяжести;
- $F_{ро}$ — поверхностно распределенная сила;
- $F_{цб}$ — центробежная сила инерции;
- $R_{дб}$ — поверхностно распределенная реакция дна борозд;
- R_n — поверхностно распределенная реакция предыдущего пласта;
- $F_{торм}$ — объемная сила инерции пласта.

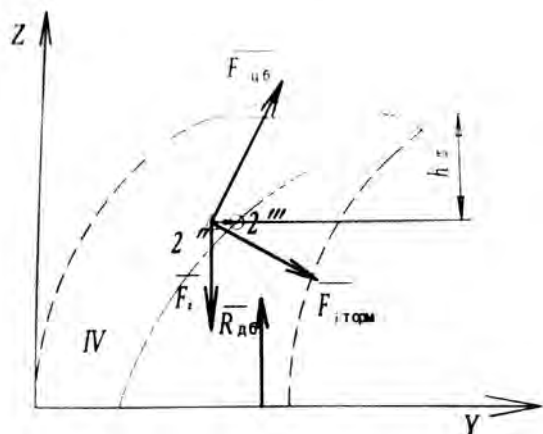


Рис. 4. Схема к расчету центробежных сил при перемещении пласта по отвалу

K_{po} и K_M — коэффициенты, учитывающие доли в общей ширине захвата (см. табл. 4) пластов:

– оборачиваемого:

$$K_{po} = \frac{b_{рез} + 0,5a \sin \varphi_{м.}}{b}$$

– приподнимаемого в массиве:

$$K_M = \frac{b_{рез}'' + 0,5a \sin \varphi_{м.}}{b}$$

$\frac{l_l}{S_p}$ — коэффициент, учитывающий долю длины лемеха в общей длине пахоты, $S_p = 14,28$ м.

Составляющие веса почвы, приложенные к корпусу:

– оборачиваемой:

$$G_{po} = gv\rho K_{po} \frac{l_l}{S_p};$$

– приподнимаемой в массиве:

$$G_M = gv\rho K_M \frac{l_l}{S_p}.$$

Исходные данные для расчета

Таблица 1

Параметры почвы — суглинок дерново-подзолистых почв

Плотность почвы	$\rho = 1600$ кг/м ³
Пределы прочности почвы, МПа	на сдвиг $\tau_{сд} = 0,04$ на смятие $\sigma_{всм} = 0,08$ на растяжение $\sigma_p = 0,01$
Коэффициенты трения	почвы по почве $\psi_{пл} = 1$, почвы по стали $\varphi = 0,5$

Таблица 2

Параметры сравниваемых корпусов и пласта почвы

Параметры плуга	Корпуса		
	0,35	0,30	0,50
Ширина захвата корпусов b , м	0,35	0,30	0,50
Доля всего плуга, приходящегося на корпус $G_{пл}$, кН	2,0	1,7	7,0
Перемещение l_H почвы по носку лемеха до момента разделения пласта, м	0,18	0,18	0,18
Подъем почвы на полевом обрезе $\Delta h_{об}$, м	0,065	0,065	0,065
Ширина щели в массиве под лемехом, $b_{рез}$, м	0,105	0,10	0,15
Ширина щели в массиве b'' , м	0,100	0,095	0,14
Средний радиус вращения пласта, м, $\rho_{cp} = \sqrt{\rho_2^2 + (0,6a)^2}$	0,29	0,37	0,538
Длина траектории контакта почвы с поверхностью рабочего органа l_{po} , м	0,55	0,556	0,854
Углы поворота пласта, рад, между положениями:			
$\Psi_{I-II} = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{a}{b}$	0–1,05	0–1,12	0–1,37
$\Psi_{II-III} = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{b/2}{a}$	0–0,95	0–0,95	0–0,90
Совокупный угол поворота пласта, ψ , рад	2,0	2,09	2,27
Средний угол α между векторами сил тяжести и воздействия органов, рад, $\alpha = 1,54\psi$	3,08	3,22	3,49
Расстояние l_2 , пройденное частицей 2 из положения III в положение IV, м	0,03	0,03	0,03

Окончание табл. 2

Параметры плуга	Корпуса		
Высоты подъема центра пласта при перемещениях: из положения I в положение II ΔH_{I-II} , м из положения II в положение III ΔH_{II-III} , м	0,03 0,053	0,032 0,062	0,120 0,0385
Центробежное ускорение пласта почвы W_{cp} , м/с ²	2,31	1,474	0,793
Радиусы поворота центра пласта, м: R_2' из положения I в положение II $R_2' = K' b/2$, где K' — поправочный коэффициент (см. рис. 3), $K' = 0,874$ R_2'' из положения II в положение III, $R_2'' = K'' a/2$, где K'' — поправочный коэффициент (см. рис. 4), $K'' = 1,77$	0,153 0,177	0,130 0,197	0,2185 0,177

Алгоритмы и результаты расчета

Из табл. 3–4 следует, что при равной глубине пахоты у корпуса с шириной захвата $b = 0,50$ м (по сравнению с корпусом $c = 0,35$ м) больше энергозатраты на поворот пласта, но меньше энергозатраты на преодоление трения с поверхностью корпуса.

Таблица 3

Расчет удельных затрат энергии, Дж/м³, на оборот пласта почвы

Составляющие затрат энергии	Формулы для расчета	Корпуса:		
		обычные		оборотн.
		$a = 0,20$ м; $b = 0,35$ м	$a = 0,22$ м; $b = 0,30$ м	$a = 0,20$ м; $b = 0,50$ м
А. Затраты энергии, Дж/м³, на оборот пласта				
вес пласта, Н	$F_g = g\rho V_{nl}$	15 680,0		
длина траектории поворота пласта, м	$S_{po} = p_{cp} (\psi_{I-II} + \psi_{II-III})$	0,55	0,556	0,427
время его поворота, с	$t_{po} = S_{po} / V, v=2$ м/с	0,275	0,278	0,2135
среднее значение поверхностно-распределенной силы F_{po} , Н	$F_{po} = m_{nl}(2 + g \cos 1,5\varphi)$	13 810,5	–	–
удельная работа оборота пласта: из положения I в положение II из положения II в положение III	$E_{I-II}^{об} = m_{nl} R_2' \int_{\psi=\psi_1}^{\psi=\psi_{I-II}} (2 + g \cos \psi) d\psi$ $E_{II-III}^{об} = mgR_2'' \varphi \Big _0^{0,95}$ $E_{II-III}^{об} = m_{nl} R_2'' \int_{\psi=\psi_{I-II}}^{\psi=\psi_{II-III}} (2 + g \cos \psi) d\psi$	2113,0 270,0	1795,0 303,7	3937,0 255,8
Б. Затраты энергии, Дж/м³, на разгон пласта на участке II–III при условии равенства затратам на торможение на участке III–IV:				
удельная работа	$E_{разг} = F_j l_{2кон}$	715,0		
сила инерции пласта при торможении, Н j_m , м/с ² время, с	$F_j = m \cdot j_m$ $J_m = l_2 / t_T$ $t_T = l_2 / V$	23 825,0 1,5 0,015		
В. Затраты энергии на преодоление трения пласта о поверхность рабочих органов				
угловая скорость поворота пласта, с ⁻¹ в продольно-вертикальной плоскости	$\omega_{cp} = \varphi_{cob} / t_{po}$	7,27	7,52	5,03
средняя центробежная сила, Н	$F_{II} = m_{nl} p_{cp} \omega_{cp}^2$	24 523,0	23 585,0	12 695,0

Составляющие затрат энергии	Формулы для расчета	Корпуса:		
		обычные		оборотн.
		a = 0,20 м; b = 0,35 м	a = 0,22 м; b = 0,30 м	a = 0,20 м; b = 0,50 м
средневзвешенная нормальная сила, N (K = 0,82)	$N = F_u \cdot K$	20 101,0	19 340,0	10 410,0
сила трения пласта, Н	$F_{трпл} = N \cdot \mu$	10 050,0	9670,0	5205,0
удельная работа на преодоление силы трения пласта, Дж/м ³	$E_{I-IV}^{TP} = F_{пл}^{TP} l_{po}$	5528,0	5752,0	3781,0
Г. Затраты энергии Дж/м ³ на пластическую деформацию, смятие и сдвиг пласта, приравняв ее к потере потенциальной энергии				
при повороте из положения I в положение II	$E_{I-II}^g = m \cdot g \cdot \Delta H_{I-II}$	470,0	501,76	1881,0
при повороте из положения II в положение III	$E_{II-III}^g = m \cdot g \cdot \Delta H_{II-III}$	830,0	972,16	606,8
на растяжение пласта центробежной силой на участке III-IV, где центробежная сила, Н	$E_{III-IV}^g = F_u \cdot l_2$	518,0	526,5	214,956
	где $F_u = m \cdot \omega_{кон}^2 \cdot R_2^{II}$	14 805,0	17 550,0	7165,2
Д. Суммарные затраты энергии, Дж/м ³				
на деформацию пласта с учетом поправочного коэффициента $K_y = 1,2$, учитывающего упругие деформации и неучтенные затраты энергии на деформации изгиба, Дж/м ³	$E_{деф} = K_y [E^{об} + E^{раз} + E^{тр} + E^D]$	12 523,0	12 076,0	13 670,0

Таблица 4

Расчет затрат энергии, Дж/м³, на резание почвы лемехом плуга

Составляющие затрат энергии, Дж/м ³	Формулы для расчета	Корпуса		
		обычный		оборотн.
		a = 0,20 м; b = 0,35 м	a = 0,22 м; b = 0,30 м	a = 0,20 м; b = 0,50 м
Энергозатраты на внедрение лемеха и формирование уплотненного ядра на носке и трение, где части веса, Н:	$E_{внедр} = F_{внедр} S_p$	7975,0	7893,1	9190,0
	$S_p = 1/ab$	14,28	15,15	10,0
	$F_{внедр} = F_{лем} F_{тр}$	2215,0	1938,6	9190,0
	$F_{тр} = \varphi K_{пл}^n (G_{po} + G_M + G_{пл})$	240,0	221,0	399,0
	$F_{лем} = \sigma_{см} S_{лем}$	320,0	300,0	520,0
оборачиваемого на РО пласта,	$G_{po} = K_{po} m_{пл} g V_{пл} \frac{l_n}{S_p}$	108,9	122,04	134,78
	$K_{po} = \frac{b_{рез} + 0,5a \sin \varphi_{nn}}{b}$	0,540	0,642	0,468
приподнимаемого в массиве,	$G_M = K_M m_{пл} g V_{пл} \frac{l_n}{S_p}$	106,04	120,0	129,02
	$K_M = \frac{b_{рез}'' + 0,5a \sin \varphi_{nn}}{b}$	0,526	0,625	0,448
плуга, приходящаяся на носок	$l_{лем}/S_p$	0,0126	0,012	0,018
	$G_{пл}^n = K_{пл}^n G_{пл}$	220,0	187,0	660,0

Составляющие затрат энергии, Дж/м ³	Формулы для расчета	Корпуса		
		обычный		оборотн.
		a = 0,20 м; b = 0,35 м	a = 0,22 м; b = 0,30 м	a = 0,20 м; b = 0,50 м
Энергозатраты на подъем отдельной части пласта почвы, Δh _{об} = 0,065 м	$E_{под}^{отд} = K_{po} G_{почв}^{нов} \Delta h_{об}$	416,0	654,0	477,0
Энергозатраты на подъем отдельной части массива пласта	$E_{под}^M = K_M G_{почв}^{нов} \Delta h_{об}$	401,4	637,0	456,6
Энергозатраты на преодоление силы инерции отдельной части пласта, где:	$E_j = P_j \cdot S$	1841,5	2334,0	1123
сила инерции, Н	$P_{jpo}^{отд} = K_{почв}^{нов} j / g$	128,9	154,08	112,3
ускорение, м/с ²	$j = \frac{2h_{об}}{V}$	1,5	1,5	1,5
время взаимодействия, с	$\Delta t = \frac{L_j}{V}$	0,09	0,09	0,09
Остальные неучтенные потери на деформацию пласта, K _л = 0,2	$E_{осз} = K_{л} [E_{вндр} + E_{под}^{orgM} + E_{под} + E_j]$	2127,0	2304,0	2249,0
Суммарная удельная энергия резания и подъема пласта, Дж	$E_{лем}^{\Sigma}$	12 760,0	13 821,0	13 495,0

Анализ составляющих энергозатрат на трение

Составляющие энергозатрат на трение при разных коэффициентах трения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Составляющие энергозатрат на трение, Дж/м³, при разных коэффициентах трения

Составляющие	Глубина почвообработки и ширина b корпуса		
	a = 0,20 м; b = 0,35 м	a = 0,22 м; b = 0,30 м	a = 0,20 м; b = 0,50 м
Составляющие энергозатрат на трение лемеха при коэффициенте трения φ _{пл} = 0,5			
$E_{лем}^{тр}$	5468,0	5862,0	5859,0
$E_{лем}^{\Sigma}$	12 760,0	13 821,0	13 459,0
$E_{лем}^{тр} / E_{лем}^{\Sigma}$	0,428	0,424	0,434
Составляющие энергозатрат на трение корпуса при коэффициенте трения φ _{пл} = 0,5			
$E_{деф}^{тр}$	5528,0	5752,0	5781,0
$E_{деф}^{\Sigma}$	12 523,0	12 076,0	13 670,0
$E_{деф}^{тр} / E_{деф}^{\Sigma}$	0,44	0,476	0,276
Суммарные составляющие энергозатрат на трение лемеха и корпуса при коэффициенте трения φ _{пл} = 0,5			
$E_{лем}^{тр} + E_{деф}^{тр}$	10 996,0	11 614,0	9640,0
$E_{лем}^{\Sigma} + E_{деф}^{\Sigma}$	25 283,0	25 887,0	27 165,0

Составляющие	Глубина почвообработки и ширина <i>b</i> корпуса		
	<i>a</i> = 0,20 м; <i>b</i> = 0,35 м	<i>a</i> = 0,22 м; <i>b</i> = 0,30 м	<i>a</i> = 0,20 м; <i>b</i> = 0,50 м
$K_{тр} = E_{лем}^{mp} + E_{деф}^{mp} / E_{лем}^{\Sigma} + E_{деф}^{\Sigma}$	0,435	0,449	0,355
$\eta_{тр} = 1 - K_{тр}$	0,565	0,551	0,645
Суммарные составляющие энергозатрат на трение лемеха и корпуса при коэффициенте трения $\varphi_{нл} = 0,25$			
$E_{лем}^{\Sigma} + E_{деф}^{\Sigma}$	19 785,0	20 080,0	22 345,0
$E_{лем}^{mp} + E_{деф}^{mp}$	5498,0	5807,0	22 345,0
$K_{тр} = E_{лем}^{mp} + E_{деф}^{mp} / E_{лем}^{\Sigma} + E_{деф}^{\Sigma}$	0,277	0,289	0,215
$\eta_{тр} = 1 - K_{тр}$	0,773	0,721	0,785

Таким образом, КПД $\eta_{тр}$, учитывающий потери на трение, составляет:

- при коэффициенте трения $\varphi_{нл} = 0,50$ КПД, учитывающий потери на трение, корпуса ($b = 0,50$) $\eta_{тр} = 0,625$, а корпуса ($b = 0,35$) $\eta_{тр} = 0,565$;
- при коэффициенте трения $\varphi_{нл} = 0,25$ КПД, учитывающий потери на трение, корпуса ($b = 0,50$) $\eta_{тр} = 0,785$, а корпуса ($b = 0,35$) $\eta_{тр} = 0,773$.

Расчет КПД плуга

При расчете КПД плуга выделим силовые потери, связанные с учетом преодоления сил трения $\Delta P_{кр}$.

Энергозатраты, связанные с внедрением лемеха, подъемом отделенной части массива

пласта, преодолением сил инерции, оборотом и деформацией пласта и т. д., будем считать полезными. Тяговое сопротивление $P_{кр}$ — это мера энергетических затрат на преодоление 1 м пути плугом:

$$P_{кр} = E/S_p.$$

Помимо модуля, каждая сила характеризуется точкой приложения и направлением.

Выделим удельные энергозатраты, Дж/м³, связанные с преодолением сил трения рабочего органа, полевой доски и опорного колеса (табл. 6).

Полученные значения $P_{кр}$ реальны для одного корпуса плуга.

Таблица 6

Расчет составляющих силы тягового сопротивления плуга, Н

Составляющие	Формулы	Корпуса		
		обычные		оборотн.
		<i>a</i> = 0,20 м; <i>b</i> = 0,35 м	<i>a</i> = 0,22 м; <i>b</i> = 0,30 м	<i>a</i> = 0,20 м; <i>b</i> = 0,50 м
Сила сопротивления рабочего органа:				
сила тягового сопротивления $P_{кр}$, Н	$\Delta P_{кр} = \frac{E_{лем}^{\Sigma} + E_{деф}^{\Sigma}}{S_p}$	1765/1388	1709/1325	2716/2235
боковая сила, действующая на полевую доску, Н	$P_B = \Delta P_{кр} / 3$	588/462	569/442	906/745
сила трения полевой доски, Н	$F_D = \varphi_{нл} P_B$	294/231	285/221	453/373
Сумма		2647/2081	2564/1988	4075/3353
Сопротивление перекачиванию опорного колеса	$P_{нл} = f_{нл} K_{нл}^2 G_{нл}$ $f_{нл} = 0,10$	220	170	770

Составляющие	Формулы	Корпуса		
		обычные		оборотн.
		$a = 0,20$ м; $b = 0,35$ м	$a = 0,22$ м; $b = 0,30$ м	$a = 0,20$ м; $b = 0,50$ м
Общее тяговое сопротивление	$P_{KP} = \Delta P_{KP} + F_D + P_{f_{пл}}$	2867/2301	2734/2158	4845/4123
Сила трения плуга, Н	$F_{пл}^{mp} = F_{лем}^{mp} + F_{деф}^{mp} + F_D^{mp}$	770/385	766/383	964/482
Разность сил трения, Н	$\Delta F_{пл}^{mp}$	385	383	482
Соотношение	$K_{mp} = F_{пл}^{mp} / P_{kp}$	0,268/0,167	0,28/0,177	0,236/0,117
КПД, учитывающий потери на трение	$\eta_{mp} = 1 - K_{mp}$	0,732/0,833	0,78/0,823	0,764/0,89
КПД приведенный, учитывающий снижение потерь на трение	$\eta_{mp}^{np} = 1 - \frac{F_{пл}^{mp}}{P_{kp} + F_{пл}^{mp}}$	0,857	0,849	0,895

Соответственно при коэффициенте трения $\varphi_{пл} = 0,5$ составляющую КПД плуга, учитывающую потери на трение, рассчитываем следующим образом:

$$\eta_{mp} = \frac{P_{kp} - F_{пл}^{mp}}{P_{kp}}$$

Если удастся путем нанесения покрытий на трущиеся детали корпуса уменьшить коэффициент трения металла плуга с почвой до $\varphi_{пл} = 0,25$, получим снижение силы трения $\Delta F_{пл}^{mp} = 0,385-0,482$ кН и приведенный КПД плуга, учитывающий потери на трение:

$$\eta_{mp}^{np} = \frac{P_{kp} - F_{пл}^{mp}}{P_{kp} + F_{пл}^{mp}}$$

Приведенный КПД, учитывающий снижение потерь на трение плуга, достигает 0,85–0,895 вместо 0,732–0,764.

Выводы

1. Потери на трение с почвой деталей корпусов плуга достигают 0,355–0,435 от тягового сопротивления рабочего органа, а КПД, учитывающий потери на трение, — 0,732–0,764. Если

бы за счет применения покрытий трущихся деталей плуга удалось снизить коэффициент трения до $\varphi_{пл} = 0,25$, то КПД плуга можно было бы увеличить до 0,85–0,89.

2. Суммарные удельные энергозатраты широкого корпуса ($b = 0,50$ м) на оборот пласта почвы больше, а на трение меньше, чем у обычного ($b = 0,35$ м).

3. В структуре общих энергозатрат на трение доля потерь на трение деталей корпуса с почвой составляет: отвала — 41,1 %, лемеха — 29,5 %, полевой доски — 29,3 %.

Литература

1. Николаев, В. А. Анализ затрат энергии на резание почвы носком и полевым обрезом лемеха плуга при вспашке / В. А. Николаев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2009. — № 11. — С. 22–25.
2. Николаев, В. А. Затраты энергии на оборот пласта почвы / В. А. Николаев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2010. — № 4. — С. 30–33.
3. Ветохин, В. И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей / В. И. Ветохин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2010. — № 6. — С. 30–35.