

МЕХАΝІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

УДК 629.114.2.032.073

Г. С. ГОРИН¹, А. В. ВАЦУЛА²

УРАВНОВЕШИВАНИЕ ЭШЕЛОНИРОВАННОГО ПАХОТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

¹*Белорусский государственный аграрный технический университет,*

²*Белорусская машинно-испытательная станция*

(Поступила в редакцию 15.06.2006)

Введение. Гусеничные тракторы широко применяются в сельском хозяйстве благодаря более высокой их проходимости и тягово-сцепным свойствам по сравнению с колесными тракторами. Их используют ранней весной при обработке переувлажненных суглинистых почв и торфяников с целью увеличения сезона полевых работ, подвоза кормов и удобрений, а также зимой в период распутицы. Основными производителями гусеничных тракторов в странах СНГ являются Россия и Украина. В Республике Беларусь ведутся испытания тракторов «Беларус-2102» (ПО «МТЗ»), имеющих резиновотросовую гусеницу и индивидуальную подвеску, что позволяет повысить плавность хода и др.

При выполнении операций обработки почвы под воздействием силы тягового сопротивления и веса задненавешенного сельскохозяйственного орудия, а также при переезде неровностей рельефа корпус трактора приобретает дифферент, вызванный копированием местности и деформацией рессор подвески.

Для уравнивания агрегата (уменьшения дифферента корпуса трактора назад) под воздействием силы тягового сопротивления и веса задненавешенного сельскохозяйственного орудия в мире в последние годы большое внимание уделяется изысканию новых способов агрегатирования трактора с почвообрабатывающими орудиями. Перспективным считается создание эшелонированных агрегатов с размещением нескольких корпусов плуга на фронтальном, а остальных корпусов – на заднем навесном устройстве, причем в работе принимают участие все корпуса одновременно.

Например, в исследованиях, проведенных в Великобритании Национальным институтом сельскохозяйственной техники (NIAE) [1], на переднем навесном устройстве тракторов мощностью 100–150 л. с. монтировали 2- или 3-корпусные плуги, на заднем – 3–4-корпусные. При движении с опущенными в рабочее положение корпусами формировали 5-, 6- или 8-корпусные пахотные агрегаты. В частности, в агрегате с трактором модели Renault 145–14TX мощностью 135 л. с. применяли плуги с 8 корпусами (на передней навеске устанавливали 3-корпусный оборотный плуг с полосовыми отвалами, на задней – 5-корпусной). Такое размещение плугов способствовало более равномерному распределению их массы по осям, что значительно повышало тягово-сцепные качества трактора. При этом исключалась необходимость балластирования передних колес трактора, отмечалась лучшая устойчивость движения пахотного агрегата (особенно при работе на местности с пересеченным рельефом), что особенно важно для гусеничного трактора с индивидуальной подвеской по причинам повышенных значений углов дифферента.

Ранее были изучены результаты исследований различных аспектов взаимодействия гусеничного трактора с навесными орудиями. Однако они касались либо взаимодействия трактора с плуга-

ми на переднем и заднем навесных устройствах только в продольно-горизонтальной плоскости [2], либо неподрессоренного трактора с передненавешенным орудием [2], либо взаимодействия в продольной плоскости поддрессоренного гусеничного трактора, но с задненавешенным орудием [4].

Цель настоящей работа – аналитическое исследование кинематики и динамики взаимодействия гусеничного трактора с индивидуальной подвеской и перененавешенного плуга в продольно-вертикальной плоскости.

Аналитические исследования кинематики и динамики передненавешенного агрегата. Известны четыре центра трактора:

1. *Центр тяжести* (ЦТ) – точка, в которой приложена равнодействующая сил веса. У реально выполненных сельскохозяйственных тракторов ЦТ смещают вперед от середины опорной поверхности гусеницы $L_{гус}$ на величину $a_0 = (0,05-0,08) L_{гус}$.

2. *Центр давления* (ЦД) – точка в которой приложена равнодействующая нормальных реакций почвы, возникающих в контактах опорной поверхности гусеницы с почвой. Продольная координата ЦД отсчитывается от середины опорной поверхности гусеницы. В статике $x_d = a_0$. При движении ЦД смещается назад и не совпадает с координатой a_0 . Идеальным считается расположение ЦД, когда $x_d = 0$, так как при этом потери на колеобразование минимальные, а толкающая реакция почвы – максимальная.

Коэффициентом смещения ЦД называют отношение $\vartheta_d = x_d / L_{гус}$: если $\vartheta_d > +\frac{1}{6}$, то задняя часть гусеницы не передает нормальную нагрузку; если $\vartheta_d < -\frac{1}{6}$, то передняя часть гусеницы не передает нормальную нагрузку.

3. *Центр упругости подвески* (ЦУП) – точка, в которой $\sum_{j=1}^n c_j l_{jЦУП} = 0$, где l_j – расстояние от j -й рессоры до ЦУП, м; c_j – жесткость j -й рессоры, кН/м. В случае симметричной подвески ЦУП совпадает с центром тяжести и в статике $\varphi^0 = 0$. В несимметричной подвеске ЦУП смещен от ЦТ на продольное расстояние:

$$l_{0ЦТ} = \frac{\sum_{j=1}^n c_j l_{jЦТ}}{\sum_{j=1}^n c_j},$$

где $l_{jЦТ}$ – расстояния от j -й рессоры до ЦТ, м.

У несимметричной подвески вертикальные перемещения ЦТ вызывают поворот корпуса, а его угловые отклонения должны сопровождаться вертикальным перемещением ЦТ.

4. *Центр вращения тяг навески* (ЦВТН) – точка пересечения в продольной плоскости осей верхней и нижних тяг. Изменяя положение ЦВТН (например, переставляя шарнир крепления верхней тяги на тракторе), можно менять продольную координату l_n – расстояние до оси опорного колеса навесной машины: чем больше l_n , тем меньше влияют на нагрузку $Y_{пл}$ относительные перемещения трактора и сельхозорудия.

Используя алгоритмы работы [4], определяем связь между перемещением z ЦУП, дифференциалами (продольными поворотами) φ корпуса трактора и ψ рамы передненавешенного сельскохозяйственного орудия, величиной перемещения q опорного колеса орудия. Будем считать, что продольно-угловые перемещения трактора φ , орудия ψ и нижней тяги навески $d\alpha_3$ положительны, если их передняя часть движется вниз. Примем также, что z и q положительные, если направлены вниз, и отрицательные, если направлены вверх. Положительные толкающие реакции почвы, отрицательные – силы сопротивления орудия, направленные назад. Положительные силы веса, отрицательные – нормальные реакции.

Пусть r_1, r_2, r_3, r_4 – длины соответственно верхней тяги CD , стойки BC , нижней тяги AB и отрезка AD , соединяющего шарниры крепления тяг навески на тракторе, соответственно. Углы их наклона $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ обозначены на рис. 1. В соответствии со схемой рисунка:

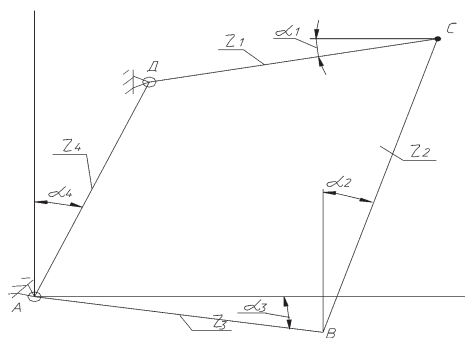


Рис. 1. Схема переднего навесного устройства трактора

$$\begin{cases} r_1 \cos \alpha_1 + r_4 \sin \alpha_4 = r_2 \sin \alpha_2 + r_3 \cos \alpha_3, \\ r_1 \sin \alpha_1 + r_4 \cos \alpha_4 = r_2 \cos \alpha_2 - r_3 \sin \alpha_3. \end{cases} \quad (1)$$

Продифференцируем систему (1):

$$\begin{cases} -r_1 \sin \alpha_1 d\alpha_1 + r_4 \cos \alpha_4 d\alpha_4 = r_2 \cos \alpha_2 d\alpha_2 - r_3 \sin \alpha_3 d\alpha_3, \\ r_1 \cos \alpha_1 d\alpha_1 - r_4 \sin \alpha_4 d\alpha_4 = -r_2 \sin \alpha_2 d\alpha_2 - r_3 \cos \alpha_3 d\alpha_3. \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим малые продольно-угловые отклонения (дифференты) и перемещения трактора и орудия. Обозначим: $d\alpha_2 = \varphi$, $d\alpha_4 = \psi$.

Выразим также

$$d\alpha_3 = \frac{-z - \varphi l_{АЦУП} + q + \psi L_{пл}}{r_3 \cos \alpha_3},$$

где $l_{АЦУП}$ – расстояние от точки крепления A нижней тяги навески на тракторе до ЦУП, м; $L_{пл}$ – расстояние от оси копирующего колеса до оси подвеса B , м. У передненавешенных плугов названное копирующее колесо устанавливают перед корпусами плуга.

Преобразуем систему уравнений (2), исключив члены, содержащие $d\alpha_1$. После подстановки $d\alpha_3$ и преобразований получим уравнение связи продольно-угловых перемещений трактора и навесного орудия:

$$f(\varphi, \psi, z, q) = \varphi \left[1 - K_2 \frac{l_{АЦУП}}{r_3 \cos \alpha_3} \right] - \psi \left[K_1 + K_2 \frac{L_{пл}}{r_3 \cos \alpha_3} \right] + (q - z) \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right] = 0, \quad (3)$$

где коэффициенты находятся следующим образом: $K_1 = \frac{r_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2)}{r_4 \cos(\alpha_1 + \alpha_4)}$, $K_2 = \frac{r_3 \sin(\alpha_1 + \alpha_3)}{r_4 \cos(\alpha_1 + \alpha_4)}$.

Из уравнения связи (3) определим, на какой угол ψ поворачивается рама передненавешенного плуга при наезде его копирующего колеса на неровность рельефа. Для расчета принято: $L_{пл} = 3$ м, $l_{АЦУП} = 3,155$ м, $r_1 = 0,5$ м, $r_2 = 0,73$ м, $r_3 = 0,72$ м, $r_4 = 0,49$ м, $\alpha_1 = 21,7^\circ$, $\alpha_2 = 0^\circ$, $\alpha_3 = 9^\circ$, $\alpha_4 = 29,3^\circ$. Результаты расчета приведены на рис. 2.

К трактору (рис. 3) приложим силу веса G_T в центре тяжести на расстоянии a_0 от середины опорной поверхности гусеницы на высоте $z_{ЦТ}$: $G_T = G_T^П + G_T^Н$, где $G_T^П$; $G_T^Н$ – составляющие силы веса трактора соответственно подрессоренного и неподрессоренного.

Силы, действующие на гусеничный обвод:

- статического натяжения гусеницы, приложенная на наклонном участке под углом $\gamma_{пн}$, а на провисающем под углом δ к горизонтали: $T_{св}^н = \frac{qa^2}{8h}$, где q – вес единицы длины гусеницы, кН/м, a – расстояние между поддерживающими роликами, м, h – стрела прогиба, м;
- инерции гусеницы: $T_{ц} = \frac{qv^2}{g}$, где v – скорость перематывания гусеницы;
- натяжения провисающей части: $T_0 = T_{св}^н + T_{ц}$;

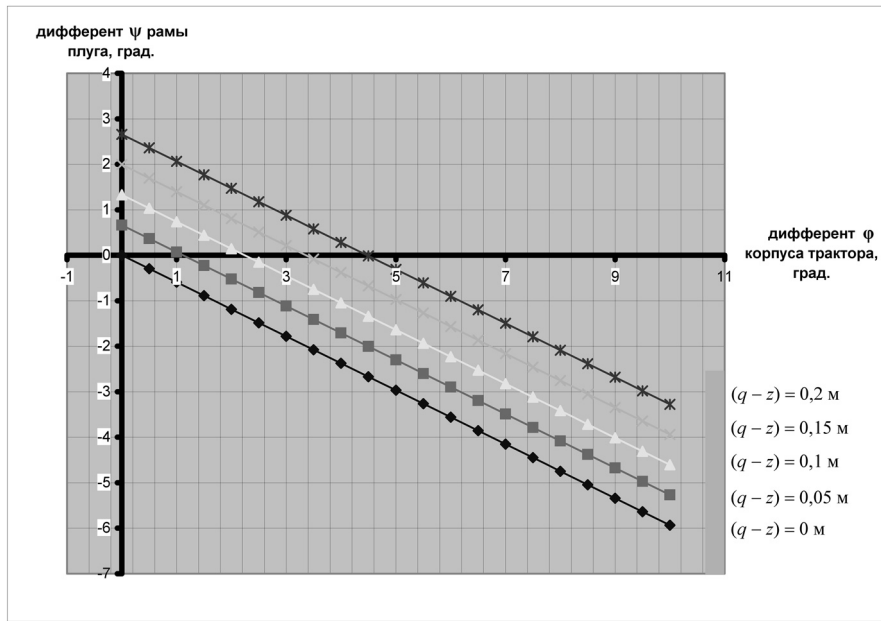


Рис. 2. Зависимости углов дифферента ψ рамы передненавешенного плуга от дифферента ϕ трактора при различных значениях разности $(q - z)$

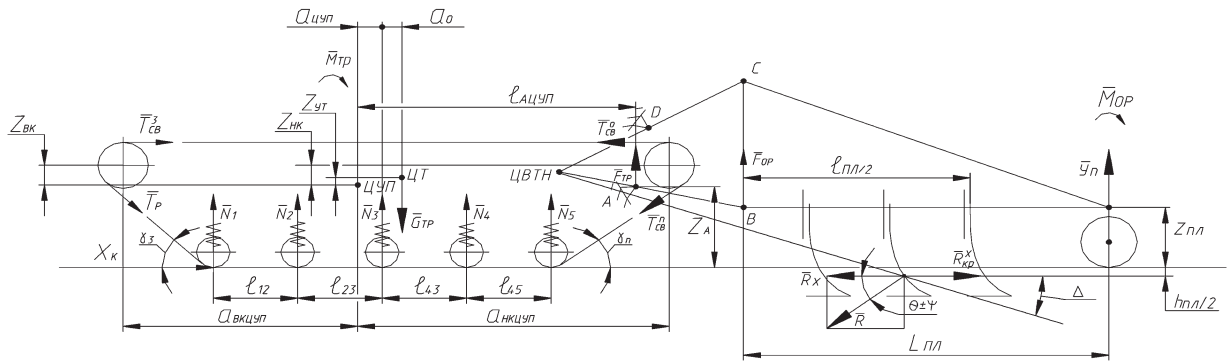


Рис. 3. Схема к выводу уравнений равновесия толкающего пахотного агрегата

• натяжения ведущей (рабочей) ветви, приложенная под углом γ_3 к горизонтали: $T_p = P_{в.к} + T_{св}^3$, где натяжение свободной ветви гусеницы сзади: $T_{св}^3 = T_{св}^п - \frac{P_{в.к}}{1 + \frac{l_{св}}{l_p}} + T_{ц}$, где $l_{св}$ и l_p – длины свободной и рабочей ветвей гусеницы соответственно; $M_{в.к}$ – ведущий момент, $M_{в.к} = P_{в.к} r_{в.к}$, $r_{в.к}$ – радиус ведущего колеса, $P_{в.к}$ – усилие на ведущем колесе, $P_{в.к} = \frac{M e^{i_{тр} i} \eta_{тр} \eta_{в.к}}{r_{в.к}}$, $\eta_{в.к}$ – механический КПД, учитывающий потери на дуговой ветви ведущего колеса, $\eta_{тр} i$ – КПД трансмиссии, $i_{тр} i$ – передаточное число трансмиссии; $F_{оп}$, $M_{оп}$ – вектор и момент внешних сил, возникающих в статике и при взаимных перемещениях трактора и навесного орудия; $F_{тр}$, $M_{тр}$ – вектор и момент внешних сил, действующих на трактор;

• нормальные реакции N_j – реакции, приложенные к j -м рессорам: $N_j = c_j [z^0 + z + (\phi - \phi^0) l_{jцуп}]$, где z^0 и z – статический и динамический прогиб рессор под ЦУП соответственно, м; ϕ^0 и ϕ – дифферент корпуса трактора в статике и в движении соответственно, град.; c_j – жесткость рессоры подвески j -го катка, Н/м; $l_{jцуп}$ – расстояние от j -го катка до ЦУП, м;

К навесному орудию (рис. 3) приложим:

- силу R_x^0 тягового сопротивления, приложенную в центре тяжести орудия, на расстоянии $0,5L_{\text{пл}}$ от оси подвеса; его вертикальную составляющую $R_x^0 \text{tg} \theta$;
- нормальную реакцию $Y_{\text{пл}}$, приложенную в контакте копирующего колеса передненавешенного орудия с почвой: $Y_{\text{пл}} = C_{\text{пл}} - q_{\text{пл}}$, где $C_{\text{пл}}$ – жесткость контакта плуга с почвой, Н/м;
- силу веса $G_{\text{пл}}$ в центре тяжести; вектор и момент внешних сил, возникающие в статике и при перемещении орудия относительно трактора: F_{AB} , F_{CD} – силы, действующие в тягах навесного устройства вдоль нижней AB и верхней CD тяг соответственно.

При дифференте вперед корпус трактора сжимает верхнюю тягу навески, вдавливая в почву копирующее колесо и поворачивает корпус орудия. Данная задача является статически неопределимой. Ее будем решать, используя метод и множитель Лагранжа λ для системы с избыточными координатами, преобразуя уравнение связи (3):

$$\begin{aligned}\frac{\partial f(\varphi, \psi, z, q)}{\partial \varphi} &= \left[1 - K_2 \frac{l_{A\text{ЦУП}}}{r_3 \cos \alpha_3} \right], \\ \frac{\partial f(\varphi, \psi, z, q)}{\partial \psi} &= - \left[K_1 + K_2 \frac{L_{\text{пл}}}{r_3 \cos \alpha_3} \right], \\ \frac{\partial f(\varphi, \psi, z, q)}{\partial z} &= - \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right], \\ \frac{\partial f(\varphi, \psi, z, q)}{\partial q} &= \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right].\end{aligned}$$

Из полученных выражений следует:

- момент внешних сил, возникающих при повороте корпуса трактора:

$$M_{\text{тр}} = \lambda \left[1 - K_2 \frac{l_{A\text{ЦУП}}}{r_3 \cos \alpha_3} \right],$$

- момент внешних сил, возникающих при повороте корпуса сельхозорудия:

$$M_{\text{ор}} = -\lambda \left[K_1 + K_2 \frac{L_{\text{пл}}}{r_3 \cos \alpha_3} \right],$$

- внешняя сила, возникающая при перемещении z ЦУП, приложенная в A (заднем шарнире крепления нижней тяги на тракторе):

$$F_{\text{тр}} = -\lambda \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right],$$

- внешняя сила, возникающая при перемещении q копирующего колеса, приложенная в B (переднем шарнире крепления нижней тяги на орудии):

$$F_{\text{ор}} = \lambda \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right].$$

Уравнения равновесия шарнирно закрепленного на тракторе плуга, если силовая связь через гидроцилиндр отсутствует (рис. 3):

- уравнение проекций сил на вертикальную ось координат с учетом того, что в статике $C_{\text{пл}} q_{\text{пл}}^0 = G_{\text{пл}}$:

$$R_x \text{tg} \theta - C_{\text{пл}} q_{\text{пл}} + F_{CD} \sin \alpha_1 + F_{AB} \sin \alpha_3 - \lambda \frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} = 0, \quad (4)$$

где θ – угол наклона результирующей тягового сопротивления, град.;

• уравнение моментов относительно ЦВТН (с учетом того, что при установившемся движении равнодействующая сил сопротивления движению проходит через ЦВТН, а также условия равновесия в статике $C_{пл}q_{пл}^0(l_{АЦВТН} + r_3 \cos \alpha_3 + L_{пл}) = G_{пл}(l_{АЦВТН} + r_3 \cos \alpha_3 + 0,5L_{пл})$:

$$-C_{пл} q_{пл} (l_{АЦВТН} + r_3 \cos \alpha_3 + L_{пл}) + R_x \left(z_{ЦВТН} + \frac{h_{пл}}{2} \right) + R_x \operatorname{tg} \theta (l_{АЦВТН} + r_3 \cos \alpha_3 + l_n) - \lambda \left[K_1 + K_2 \frac{L_{пл}}{r_3 \cos \alpha_3} \right] = 0, \quad (5)$$

где $z_{ЦВТН}$ – высота ЦВТН относительно опорной поверхности, м; $h_{пл}$ – глубина почвообработки, м. Уравнения равновесия трактора (рис. 3):

• уравнение проекций сил на вертикальную ось координат с учетом того, что в статике $\sum_{j=1}^{2n} c_j [z^0 + \varphi^0 l_{jЦУП}] = G_T - G_T^H$:

$$\sum_{j=1}^{2n} c_j [z + \varphi l_{jЦУП}] = T_p \sin \gamma_3 + T_{св}^n \sin \gamma_n + (T_{св}^0 + T_{св}^3) \sin \delta - F_{CD} \sin \alpha_1 - F_{AB} \sin \alpha_3 + \lambda \left[\frac{K_2}{r_3 \cos \alpha_3} \right], \quad (6)$$

где n – число катков на борту;

• уравнение моментов относительно ЦУП с учетом того, что в статике $\sum_{j=1}^{2n} c_j [z^0 + \varphi^0 l_{jЦУП}] l_{jЦУП} = (G_T - G_T^H)(a_{ЦУП} + a_0)$:

$$\sum_{j=1}^{2n} c_j [z + \varphi l_{jЦУП}] l_{jЦУП} = (T_{св}^3 \cos \delta + T_p \cos \gamma_3) z_{в.к.} - (T_p \sin \gamma_3 + T_{св}^3 \sin \delta) a_{в.к.ЦУП} + T_{св}^n [(\sin \gamma_n + \sin \delta) a_{н.к.ЦУП} - (\cos \gamma_n + \cos \delta) z_{н.к.}] + P_{в.к.} r_{в.к.} - C_{пл} (q_{пл}) (l_{АЦУП} + r_3 \cos \alpha_3 + L_{пл}) + R_x \left(z_{ЦУП} + \frac{h_{пл}}{2} \right) + R_x \operatorname{tg} \theta (l_{АЦУП} + r_3 \cos \alpha_3 + l_n) + \lambda \left[1 - K_2 \frac{l_{АЦУП}}{r_3 \cos \alpha_3} \right] = 0, \quad (7)$$

где $z_{в.к.}$, $z_{н.к.}$ – вертикальные расстояния вдоль от ЦУП до ведущего и натяжного колеса соответственно, м; $a_{в.к.ЦУП}$, $a_{н.к.ЦУП}$ – продольные расстояние от ЦУП до ведущего и натяжного колеса соответственно, м; l_n – продольное расстояние от оси подвеса до точки приложения сил тягового сопротивления, м.

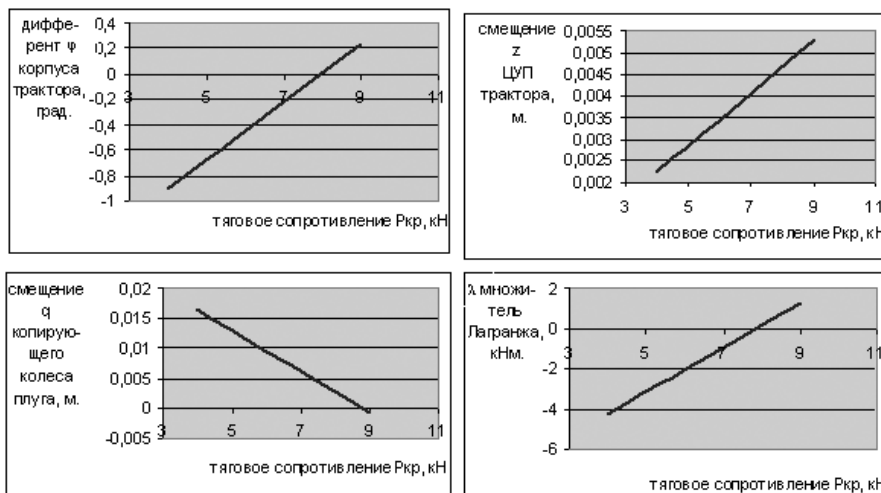


Рис. 4. Графики зависимостей z , φ , q и λ от величины $R_{кр}$ для 3-корпусного плуга

Выражения для расчета усилий F_{AB}^0 и F_{CD}^0 в тросах навесного устройства приведены в [6]. Система четырех уравнений (4)–(7) может быть решена относительно z , φ , ψ , q и λ при различных значениях $P_{кр}$. Используя справочные данные из [6], построим графики z , φ , q и λ в зависимости от $P_{кр}$ 3-корпусного плуга (рис. 4). Для расчета принято: $G_T = 109,1$ кН, $G_T^H = 8,1$ кН, $P_{ВК} = 4,2$ кН, $T_0 = 10$ кН, $C_j = 0,45 \times 10^3$ кН/м, $l_{АЦУП} = 3,155$ м, $z_{ЦУП} = 0,398$ м, $\gamma_{п} = 16^\circ$, $\gamma_3 = 23^\circ$, $\delta = 8^\circ$, $l_1, \dots, l_5 = 1,87$ м, $1,197$ м, $0,467$ м, $-1,183$, $-1,773$ м, $G_{пл} = 12$ кН, $C_{пл} = 620$ кН/м, $T_0 = 10$ кН, $h_{пл} = 0,2$ м. Таким образом, величина тягового сопротивления существенно влияет на дифферент корпуса трактора. Поскольку она может изменяться в широких пределах (отклонение может достигать до 30% [6]), возникает необходимость регулировать положение корпуса трактора в процессе работы.

Ограничимся лишь общим анализом расчетной схемы. Для этого на рис. 3 соединим линией под углом Δ к горизонтали ЦВТН с точкой приложения результирующей тягового сопротивления и построим силовой треугольник, в котором горизонтальная составляющая $R_{кр}^x = R_x$, а вертикальная составляющая $R_{кр}^y = R_{кр}^x \operatorname{tg} \Delta$. Изменение значения $\operatorname{tg} \Delta$ при условиях малых перемещений можно описать по формуле

$$\operatorname{tg} \Delta = \frac{\varphi(l_{АЦВТН} + l_{DЦВТН}) - \psi L_{пл}}{\Psi \frac{l_{пл}}{2} + \varphi \frac{r_2 \sin \alpha_2}{\operatorname{tg}(\alpha_1 + \alpha_3)}}.$$

Как видно из рис. 2, 3 и из приведенной зависимости, при положительных значениях дифферента φ расстояние от точки приложения $P_{кр}$ до ЦВТН увеличивается, а угол ψ перекоса рамы орудия приобретает отрицательное значение, что приводит к увеличению $\operatorname{tg} \Delta$, а следовательно, и $P_{кр}^y$. Значение проекции F_y усилия F трения полевой доски о борозду рекомендуется определять по формуле (7): $F_{кр}^y = f F_{кр}^x \operatorname{tg} \Delta$, где f – коэффициент трения о почву. Следовательно, при дифференте корпуса трактора происходит увеличение силы трения полевой доски о борозду.

Выводы

1. При увеличении продольной составляющей тягового сопротивления плуга $P_{кр}^x$ корпус трактора приобретает положительный дифферент на угол φ , что, в свою очередь, приводит к увеличению вертикальной составляющей тягового сопротивления $P_{кр}^y$ из-за изменения угла треугольника.
2. Составляющая $P_{кр}^y$ вызывает увеличение силы трения плуга и рост нормальных реакций почвы $Y_{пл}$, поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы угол Δ был минимальным.
3. Если ЦВТН расположен сзади (за ЦУП), то отклоняющий момент передненавешенного плуга способствует положительному дифференту. Это позволяет уравнивать трактор в продольно-вертикальной плоскости при эшелонированном построении МТА.

Литература

1. The push-pull answer to high output ploughing // Journal of Agricultural and Resource Economics. 1985. Vol. 12. N 4. P. 20–21, 24.
2. П а н о в А. И. Обоснование параметров пахотных агрегатов на базе гусеничного трактора, работающих в тягово-толкающем режиме: Автореф. дис. ... канд. тех. наук / Госагропром СССР, Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В. П. Горячкина. М., 1988.
3. Р у д а ш к о А. А. Повышение эксплуатационно-технологических показателей агрегатов применением передней навески машин на трактор класса 0.6 при возделывании пропашных культур: Автореф. дис. ... канд. тех. наук / Белорусская сельскохозяйственная академия. Горки, 1999.
4. Отчет № 200332 по подэтапу АТ «Разработать методику, программное обеспечение и исследовать влияние агрегируемого рабочего оборудования на тягово-сцепные качества трактора «Беларус-2102 и его модификаций, исследовать нагруженность тракторов при работе с рабочим оборудованием» / Г. С. Горин и др., БГАТУ. Минск, 2004.
5. П л а т о н о в В. Ф., Л е н а ш в и л и Г. Р. Гусеничные и колесные транспортно-тяговые машины. М.: Машиностроение, 1986.
6. А н и л о в и ч В. Я., В о д о л а ж е н к о Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. М.: Машиностроение, 1976.
7. К р а с н и ч е н к о А. В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Т. 1. М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1961.

G. S. GORIN, A. V. VASHCHULA

**EQUILIBRATION OF AN ARABLE UNIT ON THE BASIS OF A CATERPILLAR TRACTOR
IN THE LONGITUDINAL-VERTICAL PLANE**

Summary

The present article is aimed at studying the interaction of a caterpillar tractor with an elastic suspension bracket and frontal instruments in the longitudinal-vertical plane. When processing the ground under the influence of the traction resistance force and the weight of an agricultural instrument as well as when crossing the roughness of the relief the case of a tractor gets a trim caused by copying the relief and by deforming the springs of a suspension bracket. The tractor case through the top draft of the hinged device influences the instrument, thus causing the turn of the frame of the instrument in the longitudinal-vertical plane. To solve the stated problem it is offered to counterbalance the case of a tractor by using frontal instruments (in the considered case – a plough). The equations for communication of movements of the tractor and the instrument are derived. The expressions for calculation of interaction forces of the tractor and the instrument are determined if a trim occurs. The calculations of a tractor “Belarus-2102” and a frontal plough have shown that the instrument on the frontal mounting provides a trim of the tractor case up to 3° .