

УДК 631.312.072.3

А. В. ВАЦУЛА

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДНЕНАВЕШИВАЕМОГО ПЛУГА
ПРИ УСЛОВИИ УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА
В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

Белорусский государственный аграрный технический университет

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. Особенно сильны эти эффекты при работе с гусеничным трактором на эластичной подвеске.

С целью уравновешивания 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.

В настоящее время гусеничные тракторы «Беларус-2102» вследствие недостаточной навесоспособности агрегируют с длиннобазовыми полунавесными плугами. Переход на эшелонированное построение пахотного агрегата позволит повысить и маневренность, а следовательно, и производительность и улучшить топливную экономичность.

Курсовая устойчивость пахотного агрегата с плугами на передней и задней навесках рассмотрена в работе А. И. Панова [1]. Вопросы взаимодействия неподдресоренного трактора с передненавешенным орудием рассмотрены в работе А. А. Рудашко [2]. Вопросы взаимодействия в продольной плоскости поддресоренного гусеничного трактора с задненавешенным орудием приведены в научном отчете [3].

Рассмотрим условия равновесия эшелонированного пахотного агрегата в продольно-вертикальной плоскости.

Моменты внешних сил, действующих на трактор, рассчитываются по формулам [3]:

$$M_{ГТРз} = \lambda_3 \left[1 + K_{2з} \frac{l_{АзЦУП}}{r_{3з} \cos \alpha_{3з}} \right], \quad (1)$$

$$M_{ГТРп} = \lambda_п \left[1 - K_{2п} \frac{l_{АпЦУП}}{r_{3п} \cos \alpha_{3п}} \right], \quad (2)$$

где $M_{ГТРз}$, $M_{ГТРп}$ – моменты внешних сил, действующих на трактор со стороны задненавешенного и передненавешенного орудия соответственно, Н/м; λ_3 , $\lambda_п$ – множители Лагранжа, Н/м [4,5]; $K_{2з}$, $K_{2п}$ – коэффициенты, определяемые конструктивными параметрами задней и передней навески соответственно. Они рассчитываются по следующим формулам:

$$K_{2з} = \frac{r_{3з} \sin(\alpha_{1з} + \alpha_{3з})}{r_{4з} \cos(\alpha_{1з} + \alpha_{4з})}, \quad K_{2п} = \frac{r_{3п} \sin(\alpha_{1п} + \alpha_{3п})}{r_{4п} \cos(\alpha_{1п} + \alpha_{4п})},$$

$r_{3з}$, $r_{3п}$ – длины нижних тяг заднего и переднего навесных устройств соответственно, м; $r_{4з}$, $r_{4п}$ – длина отрезка, соединяющего шарниры крепления тяг на тракторе заднего и переднего навесных

устройств соответственно, м; $\alpha_{13}, \alpha_{33}, \alpha_{43}, \alpha_{1п}, \alpha_{3п}, \alpha_{4п}$ – углы наклона верхней, нижней тяг и отрезка, соединяющего шарниры крепления тяг на тракторе заднего и переднего навесных устройств соответственно, м; $l_{A3ЦУП}, l_{AпЦУП}$ – продольное расстояние от ЦУП до шарниров A_3 и $A_{п}$ крепления нижних тяг заднего и переднего навесных устройств соответственно, м.

Если орудия подобраны таким образом, что дифферент корпуса трактора $\varphi = 0$, то должно выполняться условие $M_{ГТР3} = M_{ГТРп}$.

Откуда следует:

$$\lambda_{п} = \lambda_{3} \frac{\left[1 + K_{23} \frac{l_{A3ЦУП}}{r_{33} \cos \alpha_{33}} \right]}{\left[1 - K_{2п} \frac{l_{AпЦУП}}{r_{3п} \cos \alpha_{3п}} \right]} \quad (3)$$

На рис. 1 представлена зависимость (3) в графическом виде.

Для расчета принято $l_{A3ЦУП} = 1,936$ м, $l_{AпЦУП} = 3,155$ м, $r_{13} = 0,9$ м, $r_{1п} = 0,5$, $r_{23} = 0,9$, $r_{2п} = 0,73$, $r_{33} = 1,03$, $r_{3п} = 0,72$, $r_{43} = 0,54$, $r_{4п} = 0,49$ м, $\alpha_{13} = 28^\circ$, $\alpha_{1п} = 21,7$, $\alpha_{23} = 0$, $\alpha_{2п} = 0$, $\alpha_{33} = 0$, $\alpha_{3п} = 9$, $\alpha_{43} = 29,3$, $\alpha_{4п} = 14^\circ$.

$\lambda_{п}$ и λ_{3} имеют различные знаки, поскольку орудия на передней и задней навеске откренивают трактор в противоположном направлении.

Уравнения равновесия шарнирно закрепленного на тракторе передненавешенного плуга, если силовая связь через гидроцилиндр отсутствует (рис. 1):

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

$$R_{Хп} \operatorname{tg} \theta_{п} - C_{плп} q_{плп}^0 + F_{CDп} \sin \alpha_{1п} + F_{ABп} \sin \alpha_{3п} - \lambda_{п} \frac{K_{2п}}{r_{3п} \cos \alpha_{3п}} = 0, \quad (4)$$

где $R_{Хп}$ – сила тягового сопротивления, приложенная в центре тяжести орудия, на расстоянии $l_{плп}/2$ от оси подвеса, Н; $G_{плп}$ – вес плуга, Н; $R_{Хп} \operatorname{tg} \theta_{п}$ – вертикальная составляющая силы тягового сопротивления, Н. Угол $\theta_{п}$ составляет $18^\circ \dots 20^\circ$; $C_{плп} q_{плп}^0 = Y_{плп}$ – нормальная реакция, приложенная в контакте копирующего колеса передненавешенного орудия с почвой, Н; $C_{плп}$ – жесткость контакта плуга с почвой, Н/м; $q_{плп}$ – деформация почвы под копирующим колесом, м;

– уравнение моментов относительно ЦВТН (с учетом того, что при установившемся движении равнодействующая сил сопротивления движению проходит через ЦВТН, а также условия равновесия в статике $C_{плп} q_{плп}^0 (l_{AпЦВТН} + r_{3п} \cos \alpha_{3п} + L_{плп}) = G_{плп} (l_{AпЦВТН} + r_{3п} \cos \alpha_{3п} + 0,5L_{плп})$:

$$-C_{плп} q_{плп}^0 \times (l_{AпЦВТН} + r_{3п} \cos \alpha_{3п} + L_{плп}) + R_{Хп} \left(z_{ЦВТНп} + \frac{h_{плп}}{2} \right) + R_{Хп} \operatorname{tg} \theta_{п} (l_{AпЦВТН} + r_{3п} \cos \alpha_{3п} + l_{плп}/2) - \lambda_{п} \times \left[K_{1п} + K_{2п} \times \frac{L_{плп}}{r_{3п} \cos \alpha_{3п}} \right] = 0, \quad (5)$$

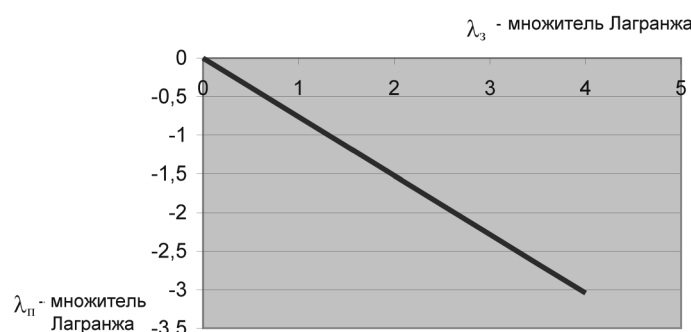


Рис. 1. График зависимости $\lambda_{п}$ от λ_{3}

где $L_{плп}$ – длина плуга, м; $l_{плп} = L_{плп} - 0,75$ м; $z_{ЦВТНп}$ – высота ЦВТН относительно опорной поверхности, м; $h_{плп}$ – глубина почвообработки, м.

Усилия в нижней ($F_{ABп}$) и верхней ($F_{CDп}$) тягах переднего навесного устройства определяются путем алгебраического суммирования усилий $F_{ABп}^0$ и $F_{CDп}^0$, рассчитанных для поступательного движения без защемления верхней тяги, и их приращений $F_{ABп}^{\Delta}$ и $F_{CDп}^{\Delta}$, вызванных

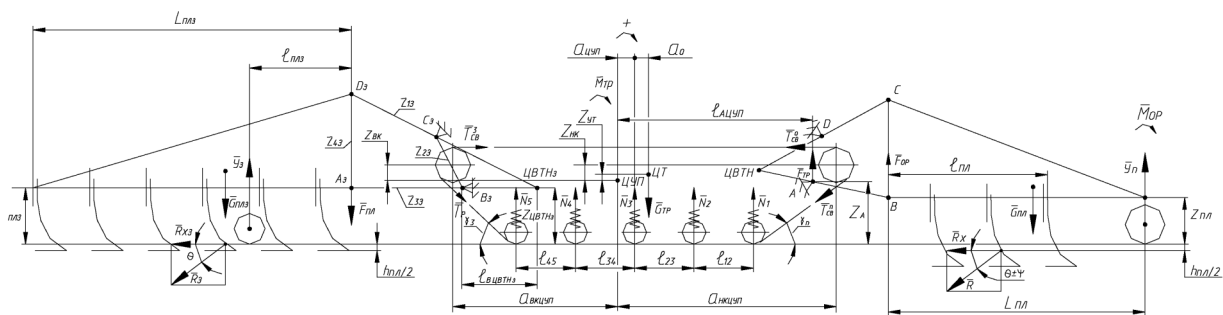


Рис. 2. Схема агрегата с передненавешенным и задненавешенным орудиями

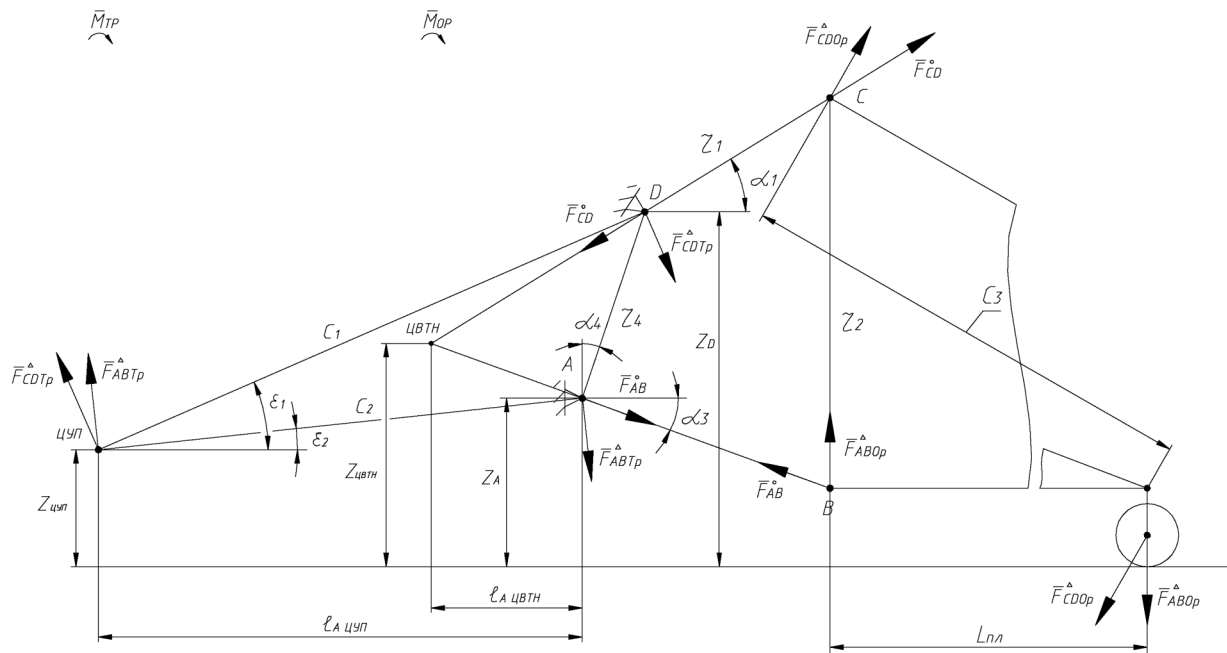


Рис. 3. Схема к расчету приращений F_{AB}^{Δ} и F_{CD}^{Δ} усилий в тягах передней навески

взаимными угловыми перемещениями трактора и плуга в продольно-вертикальной плоскости:

$$\begin{cases} F_{AB\Pi} = F_{AB\Pi}^0 - F_{AB\Pi}^{\Delta}, \\ F_{CD\Pi} = F_{CD\Pi}^0 - F_{CD\Pi}^{\Delta}. \end{cases} \quad (6)$$

При поступательном движении без защемления верхней тяги [6]:

$$\begin{cases} F_{AB\Pi}^0 = R_{\text{хп}} \operatorname{tg} \theta_{\Pi} \left(\frac{-L_{\text{пл.п}} \cos \alpha_{1\Pi}}{2r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right) - C_{\text{пл.п}} q_{\text{пл.п}}^0 \left(\frac{-L_{\text{пл.п}} \cos \alpha_{1\Pi}}{r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right) - \\ - R_{\text{хп}} \left(1 - \frac{L_{\text{пл.п}} \cos \alpha_{1\Pi}}{2r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right), \\ F_{CD\Pi}^0 = R_{\text{хп}} \operatorname{tg} \theta_{\Pi} \left(\frac{L_{\text{пл.п}}}{2r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right) - C_{\text{пл.п}} q_{\text{пл.п}}^0 \left(\frac{L_{\text{пл.п}}}{r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right) - \\ - R_{\text{хп}} \left(\frac{L_{\text{пл.п}}}{2r_{2\Pi} \cos(\alpha_{1\Pi} + \alpha_{2\Pi})} \right). \end{cases} \quad (7)$$

Приращение усилий в тягах переднего навесного устройства:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{CDn}^{\Delta} = \lambda_n \left(\frac{\left[1 - K_{2n} \frac{l_{AnЦУП}}{r_{3n} \cos \alpha_{3n}} \right] \sin(\varepsilon_{1n}) \cos(\alpha_{1n})}{\sqrt{(z_{Дn} - z_{ЦУПn})^2 + (l_{AnЦУП} + r_{4n} \sin(\alpha_{4n}))^2}} + \frac{\left[K_{1n} + K_{2n} \frac{L_{пл.п}}{r_{3n} \cos \alpha_{3n}} \right] \sin(\varepsilon_{3n}) \cos(\alpha_{1n})}{\sqrt{r_{2n}^2 + L_{пл.п}^2}} \right) \\ F_{ABn}^{\Delta} = \lambda_n \left(\frac{\left[1 - K_{2n} \frac{l_{AnЦУП}}{r_{3n} \cos \alpha_{3n}} \right] \sin(\varepsilon_{2n}) \cos(\alpha_{2n})}{\sqrt{(z_{An} - z_{ЦУПn})^2 + l_{AnЦУП}^2}} - \frac{\left[K_{1n} + K_{2n} \frac{L_{пл.п}}{r_{3n} \cos \alpha_{3n}} \right] \sin \alpha_{3n}}{L_{пл.п}} \right) \end{array} \right. \quad (8)$$

Примем для расчета $l_{AnЦУП} = 3,155$ м, $z_{ЦУПn} = 0,398$ м, $C_{пл.п} = 620$ кН/м, $\varepsilon_{1n} = 11,7^\circ$, $\varepsilon_{2n} = 2$, $\varepsilon_{3n} = 13,6^\circ$. Также примем, что $R_{хп} = nR_{х}^{yд}$, $L_{пл.п} = 0,75n + 0,75$, где $R_{х}^{yд}$ – удельное тяговое сопротивление одного корпуса плуга. Поскольку ширина захвата каждого корпуса задненавешенного плуга равна ширине захвата каждого корпуса передненавешенного плуга, то и удельное сопротивление для обоих плугов примем равным; n – число корпусов передненавешенного плуга.

Результаты расчета числа корпусов n передненавешиваемого плуга (не поворотного) в зависимости от λ_3 -множителя Лагранжа для 6-корпусного задненавесного плуга, рассчитанного по алгоритмам, приведенным в [3], показывают, что их оптимальное число близко к 3.

Выводы

Использование эшелонированных пахотных агрегатов в составе передне- и задненавешиваемых плугов трактора позволяет повысить маневренность и производительность. Однако в случае использования гусеничного трактора на эластичной подвеске, комплектование такого агрегата без предварительного расчета может быть затруднительным вследствие значительных дифферентов корпуса трактора в процессе работы. Корпус трактора стабилизируется, если моменты внешних сил, действующих на трактор со стороны орудий, будут равны, а коэффициенты Лагранжа будут иметь противоположные знаки. Проверочный расчет показал, что, например, с 6-корпусным задненавешиваемым плугом оптимально использовать на передней навеске 3-корпусный плуг.

Литература

1. П а н о в А. И. Обоснование параметров пахотных агрегатов на базе гусеничного трактора, работающих в тягово-толкающем режиме: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук/ Госагропром СССР, спец.№ 05.20.03; Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В. П. Горячкина. М., 1988.
2. 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. дисс. ... канд. тех. наук / спец.№ 05.20.03; Белорусская сельскохозяйственная академия. Горки, 1999.
3. 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». Горин Г. С. и др. Мн., 2004.
4. Б е р е з к и н Е. Н. Курс теоретической механики. М., 1974.
5. Б у х г о л ь ц Н. Н. Основной курс теоретической механики. М., 1969.
6. А н и л о в и я В. Я., В о д о л а ж ч е н к о Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Машиностроение. М., 1976.

A. V. VASHCHULA

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF A FRONTAL PLOUGH UNDER THE CONDITION OF BALANCING OF AN ARABLE UNIT IN A LONGITUDINAL – VERTICAL PLANE

Summary

The purpose of the article is to define the number of cases of a frontal plough which allows stabilizing an arable unit in a longitudinal-vertical plane. The performance of the operations connected with a ground processing under the influence of the

forces of traction resistance and the weights of the agricultural instrument and also at the crossing of a landscape roughness the case of a tractor gets a trim caused by copying of a district and springs deformation of a suspension bracket.

To balance an arable unit under the influence of the forces of resistance and weights a lot of attention is drawn to the search of some new ways of using a tractor with soil-cultivating instruments.

However, in case of the use of a caterpillar tractor on an elastic suspension bracket, the creation of this kind of unit without a preliminary calculation can be inconvenient owing to the significant trims of a tractor case during the working process. The case of a tractor is stabilized if the points of the external forces influencing the tractor on the part of the instruments are equal and Lagrange coefficient have opposite signs. The calculation has shown that, for example, with a six case plough it is possible to use a three case plough on a front device.