

**Маневровые свойства тракторного агрегата с прицепами  
с составными шарнирными дышлами**

Таяновский Г.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Развитие тракторных поездов идет по пути увеличения их удельной, на единицу конструктивной массы, грузоподъемности, снижения материалоемкости, повышения маневренности и допустимых скоростей движения в сцепе с трактором, а также показателей других важнейших свойств [1, 2]. В реализации перечисленных путей четко прослеживаются достоинства полуприцепной схемы исполнения грузонесущего звена тракторного поезда перед схемой прицепа со свободным дышлом и схемой полунавесного прицепа [2]. При этом рост грузоподъемности полуприцепов достигается увеличением числа колесных осей тандемной колесной тележки, а повышение маневренности длиннобазовых прицепов – использованием составного («ломающегося») управляемого дышла. Однако многие вопросы динамики движения таких тракторных поездов требуют дальнейшего рассмотрения [2], с целью обоснованного выбора рациональных конструктивных параметров создаваемых новых полуприцепов, системы управления поворотной частью дышла, а при необходимости и подворотом колес или тележки полуприцепа.

В статье рассмотрены методические положения оценки маневрового свойства тракторных поездов с полуприцепом с составным дышлом.

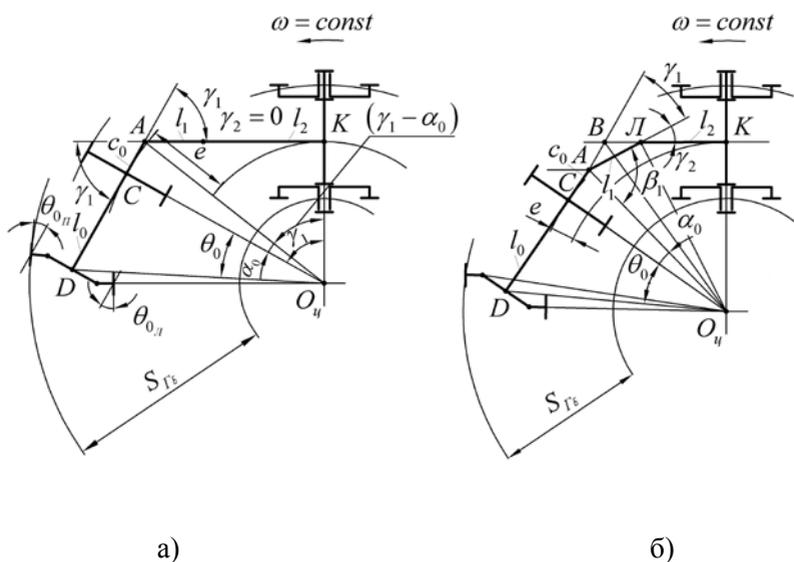
При создании тракторного транспортно-технологического агрегата на базе колесного трактора обязательным разделом предпроектных исследований является оценка его маневрового свойства. При такой оценке для случая движения МТА по круговой траектории с установившейся скоростью определяются радиусы поворота характерных точек и углы взаиморасположения звеньев агрегата. В качестве обобщающего оценочного параметра маневрового свойства используется, например, фактор маневренности, равный отношению габаритной ширины агрегата к габаритной ширине его круговой поворотной полосы.

Считается, чем ближе значение фактора маневренности к единице, тем лучшими маневровыми свойствами обладает агрегат. Для оценки приспособленности тракторного агрегата к прохождению

стесненных проездов на поворотах поверхности движения используется величина ширины габаритной полосы движения при повороте, а для оценки поворотливости агрегата при максимальных углах поворота управляемых колес трактора – минимальный габаритный радиус поворота тракторного агрегата [1].

К оценкам маневренности при статическом повороте в случае необходимости добавляются тракторные оценки фаз неустановившегося движения на повороте: входа в поворот и выхода из него [1].

Получение тракторных оценок криволинейного движения тракторного поезда производится в функции угла поворота управляемых колес, при различных значениях режимного параметра поворота. Такие выражения представляют собой систему дифференциальных уравнений и позволяют произвести сравнительную оценку агрегатов с одним тягачом и одним и тем же полуприцепом, но с различными законами управления поворотом «ломающимся» дышлом полуприцепа [2].



а) б)  
Рис. 1. Схема тракторного агрегата на повороте:  
а) угол  $\gamma_2 = 0$ ; б) угол  $\gamma_2 > 0$

На рисунках 1а и 1б представлены характерные состояния расположения звеньев рассматриваемого тракторного агрегата при круговом повороте и обозначена величина  $e$  – эксцентриситета траекторий середины заднего моста трактора (т. С) и середины колесной тандемной тележки полуприцепа (т. К). Величина угла  $\theta_0$  равна полусумме углов поворота правого и левого управляемых колес трактора-тягача, остальные обозначения ясны из рисунка.

При анализе исследуемого МТА представляет практический интерес оценка влияния на показатели маневрового свойства: базового расстояния полуприцепа; соотношений базовых расстояний трактора и полуприцепа; относительной длины поворотной части дышла полуприцепа; угла поворота поворотной части дышла полуприцепа; вылета точки сцепки; колеи полуприцепа.

Для определения числовых значений показателей маневренности были получены их аналитические выражения, боковой увод колес не учитывался. Из геометрических соотношений на основании рисунка 1а и рисунка 1б, при введении обозначения радиусов траекторий характерных  $i$ -ых точек расчетной схемы тракторного агрегата

$$- R_i, \text{ получено: } R_A = \overline{AO_u} = \sqrt{l_0^2 \cdot \text{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2};$$

$$\angle \alpha_0 = \text{arctg} \frac{c_0}{l_0 \cdot \text{ctg} \theta_0}; R_E = \sqrt{l_0^2 + R_K^2};$$

$$R_K = l_0 \cdot \text{ctg} \theta_0 \cdot \cos(\gamma_1 + \gamma_2) + c_0 \cdot \sin(\gamma_1 + \gamma_2) + l_1 \cdot \sin \gamma_2;$$

$$\overline{TK} = l_0 \cdot \text{ctg} \theta_0 \cdot \sin(\gamma_1 + \gamma_2) = c_0 \cdot \cos(\gamma_1 + \gamma_2) + l_1 \cdot \cos \gamma_2 + l_2,$$

откуда найдем неизвестный угол  $\gamma_1$ .

Так как известно, что

$$\sin(\gamma_1 + \gamma_2) = \sin \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 + \cos \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2$$

$$\cos(\gamma_1 + \gamma_2) = \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 - \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2,$$

то преобразуем последнее равенство, обозначив

$$l_0 \cdot \text{ctg} \theta_0 = A_0:$$

$$A_0 \cdot \sin \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 + A_0 \cdot \cos \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 = c_0 \cdot \cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2 - c_0 \cdot \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 + l_1 \cdot \cos \gamma_2 + l_2$$

Сгруппируем подобные:

$$\underbrace{(l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \cos \gamma_2 + c_0 \cdot \sin \gamma_2)}_{C_1} \cdot \sin \gamma_1 + \underbrace{(l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \sin \gamma_2 - c_0 \cdot \cos \gamma_2)}_{C_2} \cdot \cos \gamma_1 =$$

$$= \underbrace{l_1 \cdot \cos \gamma_2 + l_2}_{C_3}$$

C

учетом введенных обозначений получим:

$$C_1 \cdot \sin \gamma_1 + C_2 \cdot \cos \gamma_1 = C_3$$

Решив последнее уравнение, получим величину искомого угла  $\gamma_1$ .

Из схемы а) (рис. 1а):  $\overline{O_{\delta}C} = R_C = l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0$ ;

$$\overline{O_{\delta}A} = R_A = \sqrt{R_C^2 + c_0^2};$$

$$\overline{O_{\delta}K} = R_K = \sqrt{R_A^2 + (l_1 + l_2)^2} = \sqrt{l_0^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2 + (l_1 + l_2)^2};$$

$$\angle \alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{c_0}{l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0};$$

$$\angle (\gamma_1 - \alpha_0) = \operatorname{arctg} \frac{l_1 + l_2}{\sqrt{l_0^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2 + (l_1 + l_2)^2}};$$

$$\angle \gamma_1 = \operatorname{arctg} \frac{c_0}{l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0} + \operatorname{arctg} \frac{l_1 + l_2}{\sqrt{l_0^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2 + (l_1 + l_2)^2}};$$

$$e = R_C - R_K = l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0 - \sqrt{l_0^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2 + (l_1 + l_2)^2}$$

Из схемы б) (рисунок 1б):

$$R_C = l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0; R_A = \sqrt{R_C^2 + c_0^2} = \sqrt{l_0^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \theta_0 + c_0^2};$$

$$\angle CAO_{\delta} = \operatorname{arctg} \frac{R_C}{c_0} = \frac{l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0}{c_0}; \angle \beta_1 = 180^\circ - \gamma_1 - \angle CAO_{\delta};$$

$$\angle \alpha_0 = \operatorname{arctg} \frac{c_0}{l_0 \cdot \operatorname{ctg} \theta_0}.$$

Приведенные выражения установившегося поворота позволяют исследовать влияние на показатели маневренности конструктивных параметров трактора и полуприцепа с поворотной частью дышла.

Для изучения фаз неустановившегося поворота тракторного агрегата (см. рисунок 2) получены дифференциальные уравнения относительно неизвестной величины – угла складывания  $\gamma_1$  при изменении угла поворота управляемых колес  $\theta_0$  с постоянной скоростью для случаев постоянного угла установки  $\gamma_2$  поворотной части дышла и управляемого изменения его с помощью крестообразных связей, показанных на рисунке 2.

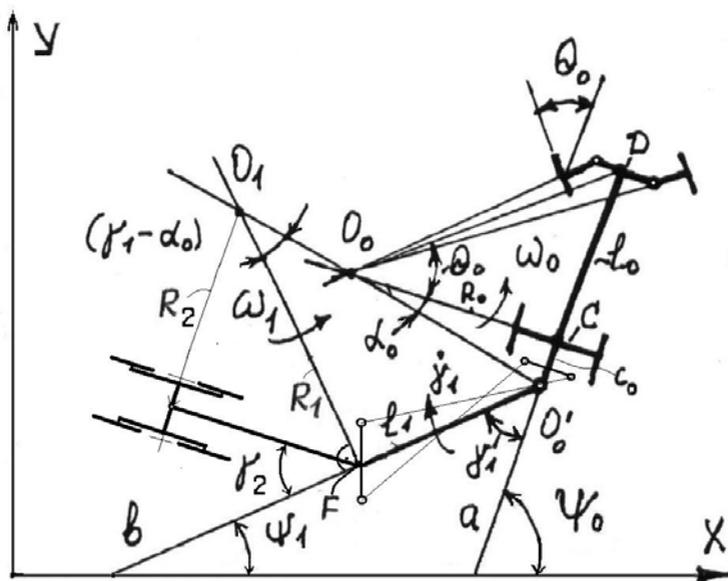


Рис. 2. Схема неустановившегося поворота трактора с полуприцепом

Качественный характер изменения траекторных оценок маневрового свойства при входе в поворот и выходе из поворота в зависимости от угла поворота управляемых колес трактора показан на рисунке 3.

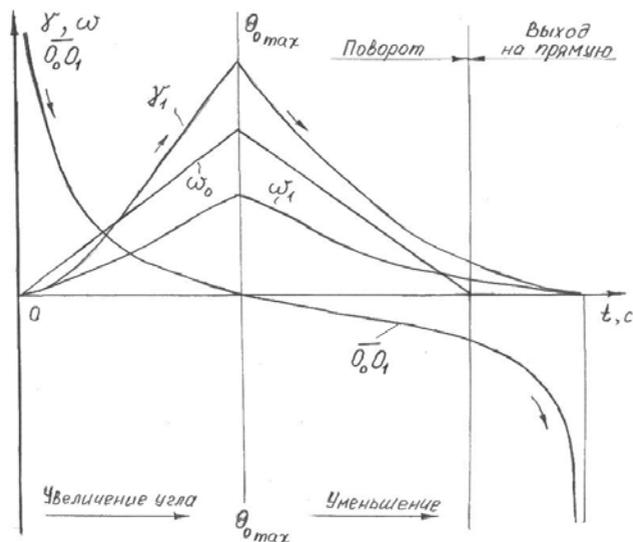


Рис. 3. Характер изменения величин углов и угловых скоростей при повороте трактора с полуприцепом

Так, например, упомянутое дифференциальное уравнение при  $\gamma_2 = 0$  имеет вид

$$(\gamma_1)'_{\theta_0} = \frac{1}{k_{\gamma} \cdot R_o(\theta_o)} \cdot \left[ 1 - \frac{\tilde{N}_o}{\ell_1} \cdot \frac{\sin[\gamma_1 - \alpha_o(\theta_o)]}{\sin[\alpha_o(\theta_o)]} \right],$$

которое позволяет при его решении одним из известных численных методов, например, методом Эйлера, получить связь углов  $\theta_0$  и  $\gamma_1$  во время криволинейного движения тракторных агрегатов рассмотренных схем. В уравнении  $k_{\Pi} = \theta_0/v_0$  – режимный параметр поворота, где  $v_0$  – поступательная скорость центра задней оси тягача. Для тракторных агрегатов при малых радиусах поворота в стеснен-

ных условиях  $k_{\Pi}$  лежит в диапазоне 0,05...0,15 рад/м. Начальные значения –  $\frac{d\gamma_1}{dt} = \frac{d\theta_0}{dt} = 0$ ;  $\theta_0(t=0) = 0$ .  $\theta_0$  (конечное) зависит

от принятого режимного параметра и для диапазона  $k_{\Pi}$ , характерного для универсально-пропашных тракторов, можно принимать  $\theta_0$  (конечное)  $\leq 0,58$  рад, так как предельные значения углов поворота управляемых колес или углов складывания, как правило, не превышают этого значения [2].

Так как при повороте тракторного поезда, например, на 90° водитель вначале поворачивает колеса до некоторого угла  $\theta_{0max}$ , а затем поворачивает их до нуля в обратную сторону, то это необходимо учесть при интегрировании дифференциального уравнения.

Приведенные выражения для случая неустановившегося поворота позволяют получить картину изменения характеристик маневра, совершаемого агрегатом:

$$\dot{\gamma}_1, \omega_0, \omega_1, \overline{O_0 O_1}, \alpha_0, R_0, R_C, R_D, \overline{O'_0 O_1}, R_F, \theta_0$$

в функции времени от начала его совершения, которые имеют следующий вид (см. рисунок 3).

Данный подход позволяет решать многие практические задачи маневренности тракторных поездов с прицепами новой схемы, с целью выбора наилучших параметров как самого прицепа, так и параметров его агрегатирования с тягачем. Дальнейшее развитие изложенной модели состоит в учете углов увода колес и переходе к динамической модели.

Литература

1. Tractors: theory/ V.V.Guskov, N.N. Velev, J.E. Atamanov and others.- М.: Engineering, 1988.- 376 p.
2. Tajanowskij G.A. The conception and tasks structure system of the analysis and approval of tractors transport units. News of Mogilev State Technical University, No.1, 2001, - 198 p., page 173-178.