

УДК 631.3.072

А. В. Захаров, И. И. Бондаренко, И. О. Захарова

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ТРАКТОРА КЛАССА 5 ПРИ РАБОТЕ В СОСТАВЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО-ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь.

E-mail: kaf.tia@bsatu.by

Аннотация. В статье предложена расчетная схема и методика оценки эффективности тормозной системы трактора класса 5 при работе в составе почвообрабатывающего-посевного агрегата. Приведены результаты расчетов для нескольких агрегатов отечественного и зарубежного производства.

Ключевые слова: агрегат, трактор, установки, эффективность, тормозной путь

Большинство производителей тракторов, кроме задних тормозных механизмов, применяют тормозные механизмы для торможения дополнительно и передним ведущим мостом (ПВМ).

Используются следующие схемы установки тормозных механизмов для торможения передним мостом [1]:

- в приводе ПВМ, непосредственно в коробке передач;
- на входном валу ПВМ трактора;
- рядом с дифференциалом ПВМ;
- в колесных редукторах ПВМ.

Оценка эффективности тормозной системы трактора проводится согласно СТБ 2216-2011 и директивы (ЕС) 2015/68 по максимальному замедлению и тормозному пути. Составим расчетную схему для нахождения тормозных моментов, замедления и тормозного пути тракторного агрегата при торможении (рисунок 1). Исходные данные почвообрабатывающе-посевного агрегата для предпосевной обработки почвы с одновременным посевом зерновых «Беларус 3022» + АПП-6АБ [2]:

- тракторный агрегат «Беларус 3022» + АПП-6АБ движется по ровной поверхности;
- вес трактора «Беларус 3022» $G = 108,0$ кН;
- продольная база трактора $L = 2,96$ м;
- координаты центра тяжести $a = 1,2$ м и $h = 0,9$ м;
- вес порожней машины АПП-6АБ $64,05$ кН с семенами $75,05$ кН;
- координаты центра тяжести $G_{\text{пну}} = 14,2$ кН для переднего бункера $a_{\text{пну}} = 2,55$ м, и $h_{\text{пну}} = 1,1$ м;
- координаты центра тяжести $G_{\text{зну}} = 60,85$ кН для задней сеялки $a_{\text{зну}} = 2,11$ м, и $h_{\text{зну}} = 1,2$ м;
- радиусы колес трактора передних $r_{\text{п}} = 0,65$ м, задних $r_{\text{з}} = 0,95$ м;
- передаточное число конечных передач ПВМ $u_{\text{п}} = 6,54$, ЗВМ $u_{\text{з}} = 10,45$;
- коэффициент сцепления с дорогой колес $\varphi = 0,7$;
- коэффициент учета вращающихся масс агрегата $\delta_{\text{вр}} = 1,6$;
- сцепка жесткая, беззазорная;
- расчет производится при движении в транспортном режиме.

Согласно СТБ 2216-2011 длина тормозного пути должна удовлетворять условию [3]:

$$\frac{V_0^2}{2 \cdot J_{\text{max}}^{\text{аэп}}} + V_0 t_T \leq 0,18 \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{90}; \quad (1)$$

где V_0 – скорость в момент торможения, км/ч;

$J_{\text{max}}^{\text{аэп}}$ – максимальное замедление трактора, м/с²;

t_T – время срабатывания тормозов, для гидравлических 0,3 с.

Согласно директиве (ЕС) 2015/68 предельно допустимая величина тормозного пути определяется по формуле [4]:

$$S_T = 0,15 \cdot V + V^2/116. \quad (2)$$

Определим тормозной путь тракторного агрегата для случая, когда трактор тормозит только задней осью.

Замедление тракторного агрегата при торможении только задней осью трактора:

$$J_{\text{max}}^{\text{аэп}} = \frac{2g \cdot M_T^3 \cdot U_T^3}{\delta_{\text{вр}} (G_n \cdot r_n + G_3 \cdot r_3)}; \quad (3)$$

Нагрузка на оси трактора при торможении:

$$G_n = \frac{G_{\text{аэп}}}{L} (a_{\text{аэп}} + \varphi \cdot h_{\text{аэп}}); \quad (4)$$

$$G_3 = \frac{G_{\text{аэп}}}{L} (L - a_{\text{аэп}} - \varphi \cdot h_{\text{аэп}}); \quad (5)$$

где $G_{\text{арг}} = G + G_{\text{пну}} + G_{\text{зну}}$ – вес агрегата;

$a_{\text{арг}}$ и $h_{\text{арг}}$ – вертикальная и продольная координаты центра тяжести агрегата, м.

Для определения координат центра тяжести $a_{\text{арг}}$ и $h_{\text{арг}}$ агрегата основываясь на том, что момент создаваемый передне- и задненавешенным агрегатом относительно какой либо точки, должен быть равен сумме моментов создаваемых относительно этой точки трактором и машиной.

Исходя из рисунка 2.4 относительно точки О составим уравнения

$$G_{\text{арг}} \cdot a_{\text{арг}} = G \cdot a + G_{\text{пну}} \cdot (a_{\text{пну}} + L) - G_{\text{зну}} \cdot a_{\text{зну}};$$

$$G_{\text{арг}} \cdot h_{\text{арг}} = G \cdot h + G_{\text{пну}} \cdot h_{\text{пну}} + G_{\text{зну}} \cdot h_{\text{зну}};$$

учитывая что $G_{\text{арг}} = G + G_{\text{пну}} + G_{\text{зну}}$, получим

$$a_{\text{агр}} = \frac{G \cdot a + G_{\text{тнл}} \cdot (a_{\text{тнл}} + L) - G_{\text{зпнл}} \cdot a_{\text{зпнл}}}{G + G_{\text{тнл}} + G_{\text{зпнл}}}; \quad (6)$$

$$h_{\text{агр}} = \frac{G \cdot h + G_{\text{тнл}} \cdot h_{\text{тнл}} + G_{\text{зпнл}} \cdot h_{\text{зпнл}}}{G + G_{\text{тнл}} + G_{\text{зпнл}}}. \quad (7)$$

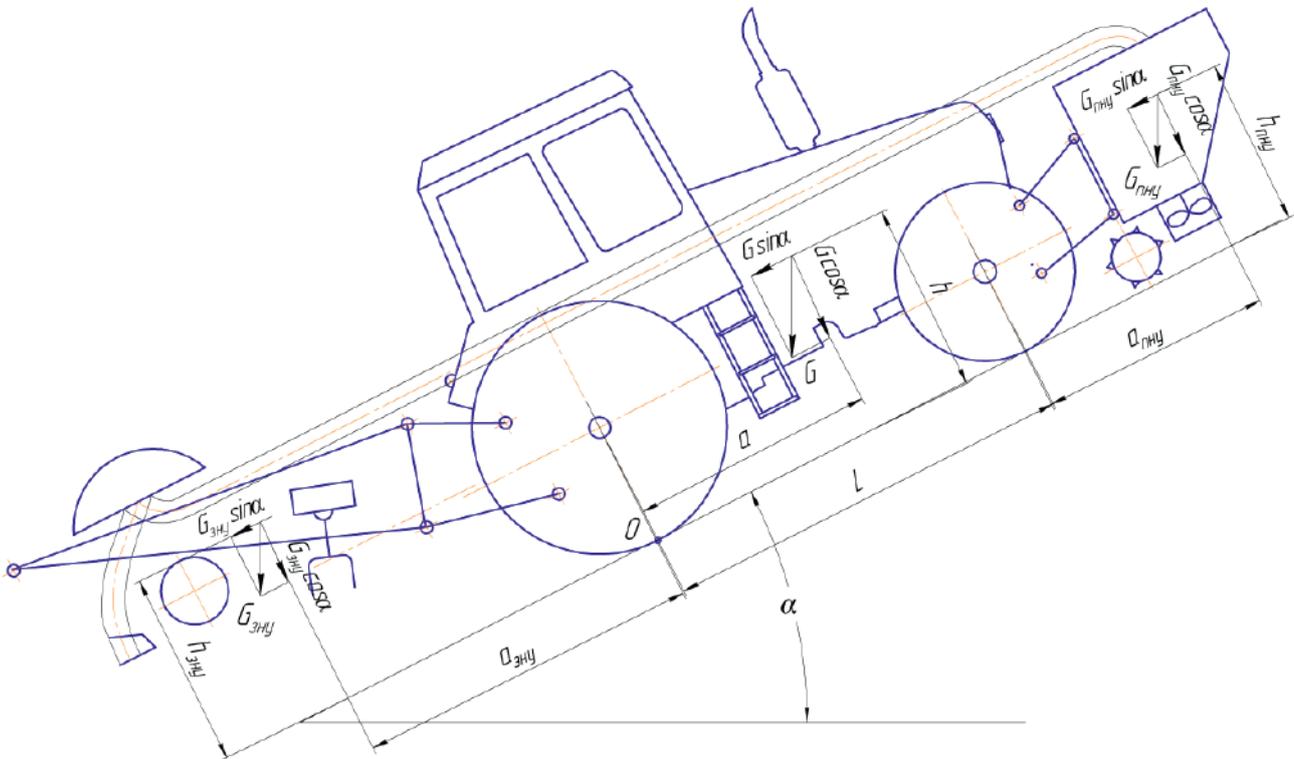


Рисунок 1. Расчетная схема почвообрабатывающе-посевного агрегата

Тормозные моменты создаваемые:
– задним мостом трактора

$$M_T^3 = \frac{\varphi \cdot r_3 \cdot G_{\text{агр}}}{2 \cdot U_3 \cdot L} (L - a_{\text{агр}} - \varphi \cdot h_{\text{агр}}) \quad (8)$$

– передним мостом трактора

$$M_T^n = \frac{\varphi \cdot r_n \cdot G_{\text{агр}}}{2 \cdot U_n \cdot L} (a_{\text{агр}} + \varphi \cdot h_{\text{агр}}). \quad (9)$$

Подставим параметры почвообрабатывающе-посевного агрегата «Беларус 3022»+АПП-6АБ:

$$a_{\text{агр}} = \frac{108,0 \cdot 1,2 + 14,2 \cdot (2,55 + 2,96) - 60,85 \cdot 2,11}{108,0 + 14,2 + 60,85} = 0,491 \text{ м};$$

$$h_{\text{агр}} = \frac{108,0 \cdot 0,9 + 14,2 \cdot 1,1 + 60,85 \cdot 1,2}{108,0 + 14,2 + 60,85} = 1,01 \text{ м}.$$

$$G_n = \frac{183,05}{2,96} (0,491 + 0,7 \cdot 1,01) = 74,08 \text{ кН};$$

$$G_3 = \frac{183,05}{2,96} (2,96 - 0,491 - 0,7 \cdot 1,01) = 130,52 \text{ кН}.$$

Тормозные моменты

$$M_T^3 = \frac{0,7 \cdot 0,95 \cdot 183,05 \cdot 10^3}{2 \cdot 10,45 \cdot 2,96} (2,96 - 0,491 - 0,7 \cdot 1,01) = 3450,52 \text{ Н·м};$$

$$M_T^n = \frac{0,7 \cdot 0,65 \cdot 183,05 \cdot 10^3}{2 \cdot 6,54 \cdot 2,96} (0,491 + 0,7 \cdot 1,01) = 2578,2 \text{ Н·м};$$

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 3450,52 \cdot 10,45}{1,6(74,08 \cdot 0,65 + 130,52 \cdot 0,95) \cdot 10^3} = 2,56 \text{ м/с}^2.$$

Тогда при максимальной скорости тракторного агрегата 40 км/ч:

$$\frac{11,1^2}{2 \cdot 2,56} + 11,1 \cdot 0,3 \leq 0,18 \cdot 40 + \frac{40^2}{90};$$

$$27,39 \text{ м} > 25 \text{ м}.$$

Условие не выполняется.

Согласно директиве (ЕС) 2015/68

$$S_T = 0,15 \cdot 40 + 40^2 / 116 = 19,79.$$

$$27,39 \text{ м} > 19,79 \text{ м}$$

Условие также не выполняется.

Следовательно, необходимо применение тормозов в переднем мосту, тогда замедление тракторного агрегата:

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{2g(M_T^3 \cdot U_T^3 + M_T^n \cdot U_T^n)}{\delta_{\text{агр}}(G_n \cdot r_n + G_3 \cdot r_3)};$$

$$J_{\text{max}}^{\text{агр}} = \frac{2 \cdot 9,81 \cdot (3450,52 \cdot 10,45 + 2578,2 \cdot 6,54)}{1,6(74,08 \cdot 0,65 + 130,52 \cdot 0,95) \cdot 10^3} = 3,86 \text{ м/с}^2;$$

$$\frac{11,1^2}{2 \cdot 3,86} + 11,1 \cdot 0,3 \leq 0,18 \cdot 40 + \frac{40^2}{90};$$

$$19,28 \text{ м} < 25 \text{ м}, \text{ и } 19,28 \text{ м} < 19,79 \text{ м}$$

Условие выполняется по обоим стандартам. В результате применение тормозов в переднем мосту обосновано.

Выполним расчет эффективности тормозов для различных почвообрабатывающе-посевных агрегатов при скоростях движения 30, 20 и 10 км/ч для

трех различных транспортных агрегатов результаты показаны на графиках (рис. 2, 3).

Заключение

По результатам расчетов видно, что требования СТБ 2216-2011 и директивы (ЕС) 2015/68 по максимальному замедлению и тормозному пути трактора не

выполняются без применения тормозов в переднем мосту. При полном затормаживании задних колес (тормозит юзом) на скорости 40 км/ч максимальное замедление почвообрабатывающе-посевного «Беларус 3022» + АПП-6АБ $2,56 \text{ м/с}^2$, тормозной путь 27,4 м по требованиям – 25 и 19 м соответственно.

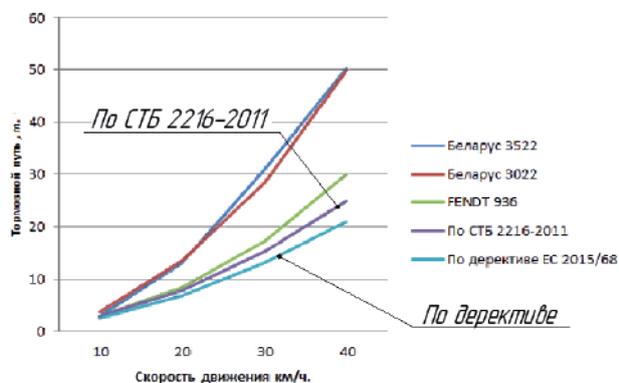


Рисунок 2. Тормозной путь тракторного почвообрабатывающего-посевного агрегата без применения тормозов в переднем мосту

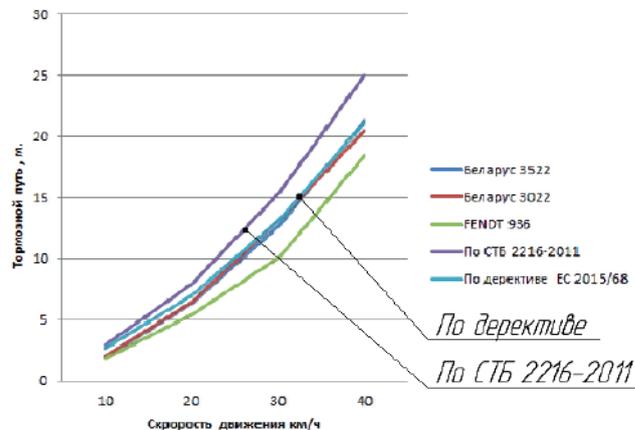


Рисунок 3. Тормозной путь тракторного почвообрабатывающего-посевного агрегата с применением тормозов в переднем мосту

Библиографический список

1. Тракторы. Конструкция. Под общ. ред. И. П. Ксеневиича – М.: МГТУ «МАМИ», 2001. – 821с.
2. Трактор «Беларус 2522/2822/3022» и его модификации. Руководство по эксплуатации / гл. ред. М. Г. Мелешко, отв. ред. И. Н. Усс, отв. за выпуск А. И. Бобровник. – ПО «Минский тракторный завод», 2014. – 394 с.
3. Прицепы и полуприцепы тракторные. Общие технические требования: СТБ 2216–2011; введен впервые, 01.01.2012. – Минск: БелГИСС, 2012. – 12 с.
4. Регламент (ЕС) 2015/68 Европейского парламента и Совета в отношении требований к торможению транспортных средств для допуска сельскохозяйственных и лесных транспортных средств; введен 15.02.2015 взамен (EU) 2011/16.