

УДК 631.37

## ДИНАМИКА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОВОРОТА ДВУХМАШИННОГО ПОСЕВНОГО МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

**В.Н. Масалабов,***инженер Таврического государственного агротехнологического университета, г. Мелитополь, Украина*

*Изложены результаты исследования динамики неустановившегося поворота машинно-тракторного агрегата, состоящего из трактора, полунавесной сцепки и двух прицепных зерновых сеялок. Установлено, что максимальная разница между динамическим и статическим радиусами поворота исследуемого машинно-тракторного агрегата не превышает 10 %.*

*The article gives the dynamics research results of the machine aggregate irregular turn, consisting of a tractor, a semi-mounting coupling and two towing grain sowing-machines. It is found that a maximum difference between the dynamic and static turn radiuses of the tested machine aggregate does not exceed 10 %.*

### Введение

Эффективное ведение производства в аграрном секторе нуждается в такой материально-технической базе, которая способна обеспечить выполнение всего объема механизированных работ в оптимальные сроки с высоким качеством и рациональными затратами.

Одним из путей решения такой задачи является использование высокопроизводительных машинно-тракторных агрегатов (МТА). В значительной степени это касается посевных МТА на основе широко распространенных в Украине универсально-пропашных тракторов тягового класса 1,4. Анализ показывает, что повышение производительности их труда целесообразно осуществлять за счет увеличения ширины захвата агрегата путем использования двух прицепных зерновых сеялок вместо одной (типа СЗ-3,6).

Однако такое агрегатирование указанных машин нуждается в применении сцепки. Использование последней в прицепном варианте характерно значительной длиной выезда посевного МТА. В результате это приводит к существенному (не менее 38 %) увеличению им удельных затрат времени смены на повороты.

Определяющее влияние на поворотливость того или иного машинно-тракторного агрегата оказывают его соответствующие конструктивные, кинематические и эксплуатационные параметры. Из их числа наиболее важную роль играет минимальный ( $R_{a_{min}}$ ) радиус поворота МТА [1, 2]. При этом следует учитывать, что у рассматриваемого агрегата он должен быть таким, чтобы обеспечить невозможность столкновения прицепных сеялок, как между собой, так и с полунавесной сцепкой.

В работе [3] авторами рассмотрен вопрос анализа установившегося поворота двухмашинного посевного машинно-тракторного агрегата, в котором установлены закономерности влияния конструктивных параметров и режима движения последнего на радиус поворота.

В реальных условиях эксплуатации вполне вероятен неустановившийся режим движения МТА на

поворотной полосе. В данной статье предпринята попытка аналитического анализа этого процесса.

При написании уравнений движения опытного МТА на поворотной полосе будем выходить из общепринятого понятия правильности поворота, согласно которому [4, 5]:

1) все колеса агрегата перекатываются без бокового скольжения;

2) пересечение продолжения их осей осуществляется в точке, которая является центром кривизны пройденного агрегатом пути.

С целью упрощения задачи составления уравнений динамики поворота рассматриваемого МТА принимаем следующие предположения:

1. Поверхность движения (поля) является горизонтальной, крен и дифферент машинно-тракторного агрегата отсутствуют.

2. Боковое взаимодействие шин с деформированной поверхностью описывается гипотезой «бокового увода».

3. Изменение скорости поступательного движения агрегата на поворотной полосе настолько мало, что она принимается постоянной и приблизительно равной для середин переднего и заднего мостов трактора.

4. Тангенциальные силы инерции и инерционные моменты сопротивления поворота звеньев машинно-тракторного агрегата из-за их малости не учитываются.

5. Разница углов ввода шин одной геометрической оси достаточно мала и ее можно не учитывать.

6. Коэффициенты сопротивления увода шин одной геометрической оси рассматриваемого машинно-тракторного агрегата являются равными.

Для работы с двумя сеялками типа СЗ-3,6 достаточно трактора, который имеет лишь задний ведущий мост. Создаваемого им тягового усилия хватает для осуществления как маневрирования на поворотной полосе, так и выполнения рабочего движения посевного МТА. Тем более, что во время его холостого хода (т. е. поворота) тяговое сопротивление сеялок определяется лишь сопротивлением их качения.

При повороте на рассматриваемый машинно-тракторный агрегат действует ряд соответствующих сил. В первую очередь это движущая сила задних ( $F_a$ ) и сила сопротивления качению передних ( $P_{fb}$ ) колес трактора (рис. 1). Прикладываются они в точках А и В, которые представляют середины соответствующих мостов энергетического средства. Для осуществления дальнейших действий именно в этих точках целесообразно разместить разделенную на две части ( $M_a$  и  $M_b$ ) массу трактора. Причем, массу, которая сосредоточена в середине заднего моста ( $M_a$ ), увеличим на массу жестко (в горизонтальной плоскости) навешенной сцепки.

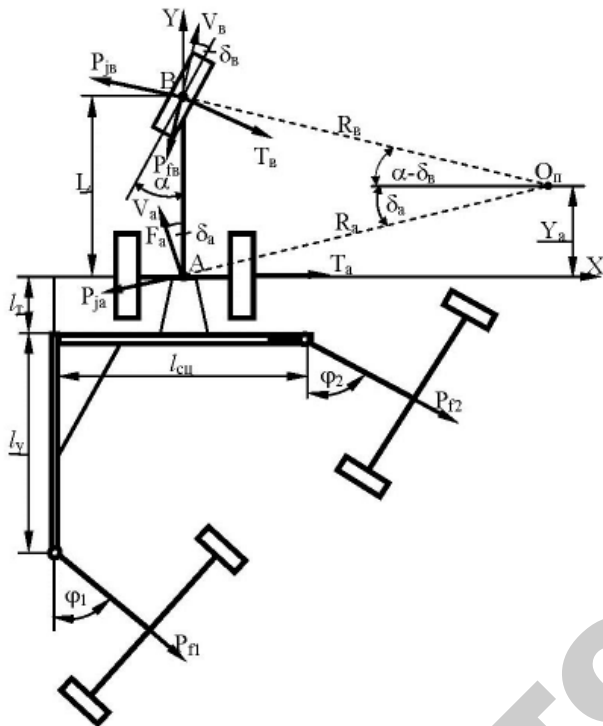


Рисунок 1. Схема динамического поворота двухмашинного МТА

С учетом вышеизложенного, в точках А и В сосредоточим центробежные силы инерции  $P_{ja}$  и  $P_{jb}$ , а также боковые силы  $T_a$  и  $T_b$ . Причем, если первые направлены вдоль радиусов  $R_a$  и  $R_b$ , то вторые – перпендикулярно плоскостям колес соответствующих мостов трактора.

При осуществлении движения на поворотной полосе влияние технологической части агрегата на трактор со сцепкой представлено силами сопротивления качения прицепных сеялок  $P_{f1}$  и  $P_{f2}$  (рис. 1).

Под воздействием внешних сил колеса трактора перекачиваются с уводом шин, углы которых для передней оси –  $\delta_b$ , а для задней –  $\delta_a$ . Расчетами установлено, что под действием указанных выше внешних сил величина этих углов в процессе поворота МТА не превышает 10...12°. Это дает нам право принять следующие допущения:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_a &\approx \sin \delta_a = \delta_a; \cos \delta_a = 1; \\ \operatorname{tg} \delta_b &\approx \sin \delta_b = \delta_b; \cos \delta_b = 1. \end{aligned}$$

Из-за проявления явления увода шин мгновенный центр поворота машинно-тракторного агрегата смещается в продольном направлении на величину  $Y_a$  (рис. 1). В результате это приводит к увеличению радиуса поворота МТА.

Для рассматриваемого агрегата неизвестными являются два параметра: радиус поворота  $R_a$  и смещение центра мгновенного поворота  $Y_a$ . Для их определения достаточно иметь систему из двух независимых уравнений. Ими могут быть сумма проекций всех сил на ось АУ и сумма создаваемых этими силами моментов относительно т. А.

В развернутом виде математическая модель поворота двухмашинного агрегата имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} 1) P_{jb} \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \delta_b) - P_{fb} \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \delta_b) - T_b \cdot \sin \alpha + F_a - P_{ja} \cdot \delta_a - P_{f2} \cdot \cos \varphi_2 - P_{f1} \cdot \cos \varphi_1 &= 0; \\ 2) T_b \cdot \cos \alpha \cdot L - P_{jb} \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \delta_b) \cdot L - P_{fb} \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \delta_b) \cdot L + P_{f2} \cdot (\cos \varphi_2 \cdot l_{сш}/2 - \sin \varphi_2 \cdot l_t) - P_{f1} \cdot (\sin \varphi_1 \cdot l_t + \cos \varphi_1 \cdot l_{сш}/2) &= 0; \\ 3) P_{ja} &= M_a \cdot V_n \cdot (V_n \cdot K - Y_a \cdot K - Y_a \cdot K); \\ 4) P_{jb} &= M_b \cdot V_n \cdot \{V_n \cdot K - [Y_a \cdot K + K(Y_a - L)] \cdot [1 + \operatorname{tg}^2 \alpha] / [1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]^2\}; \\ 5) T_a &= k_a \cdot Y_a \cdot K; \\ 6) T_b &= k_b \cdot [\operatorname{tg} \alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K]; \\ 7) \operatorname{tg} \varphi_1 &= K \cdot [Y_a + l_t + l_y + (l_{сш}/\cos \varphi_1)] / [1 + (l_{сш}/2) \cdot K]; \\ 8) \operatorname{tg} \varphi_2 &= K \cdot [Y_a + l_t + (l_{сш}/\cos \varphi_2)] / [1 - (l_{сш}/2) \cdot K]; \\ 9) \delta_a &= Y_a \cdot K; \\ 10) \delta_b &= [\operatorname{tg} \alpha - (L - Y_a) \cdot K] / [1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot (L - Y_a) \cdot K], \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $\alpha$  – угол поворота управляемых колес трактора, рад;

$\varphi_1, \varphi_2$  – углы поворота прицепных сеялок, рад;

$V_n$  – скорость движения МТА на поворотной полосе, м/с;

$K = 1/R_a$  – кривизна поворота, м<sup>-1</sup>;

$k_a, k_b$  – коэффициенты сопротивления уводу шин заднего и переднего мостов трактора соответственно, кН/рад;

$L, l_{сш}, l_t, l_y, l_{сг}$  – конструктивные параметры МТА (м), природа которых ясна из рис. 1.

При решении системы уравнений (1) исходными величинами были функции изменения во времени (t) кривизны (K) и координаты смещения центра поворота МТА ( $Y_a$ ) при разных значениях управляющего влияния – угла поворота управляемых колес трактора  $\alpha$ .

Начальные условия при  $t = 0$  были такими:

$$K = 0;$$

$$Y_a = 0.$$

Если второе условие не вызывает сомнений, то первое нуждается в определенном разъяснении. Обусловлено оно тем, что кривизна  $K = 1/R_a$ , а поскольку в начале маневра на поворотной полосе радиус

траектории можно принять равным  $\infty$ , то вполне понятно, что величина  $K$  в этом случае равняется нулю.

Для решения поставленной задачи достаточно рассмотреть процесс изменения параметра  $K$ , а значит и радиуса поворота МТА  $R_a$ . Физика процесса при этом следующая. На вход математической модели МТА подается конкретный полезный сигнал в виде угла поворота управляемых колес энергетического средства ( $\alpha$ ). Машинно-тракторный агрегат через определенный переходный период должен выйти на устоявшийся режим поворота, который определяется минимальным радиусом, отвечающим заданной величине угла  $\alpha$ .

Аналогичная ситуация происходит при другом значении управляющего воздействия (т. е. угла  $\alpha$ ). Причем, чем больше его величина, тем на меньший радиус поворота выходит машинно-тракторный агрегат.

### Основная часть

Теоретический анализ показал следующее. Практически для всех вариантов параметра  $\alpha$ , который в математической модели изменяли от 0,2 до 0,5 рад, приблизительно через 1,5 с машинно-тракторный агрегат выходил на минимальное значение радиуса поворота  $R_a$  (рис. 2).

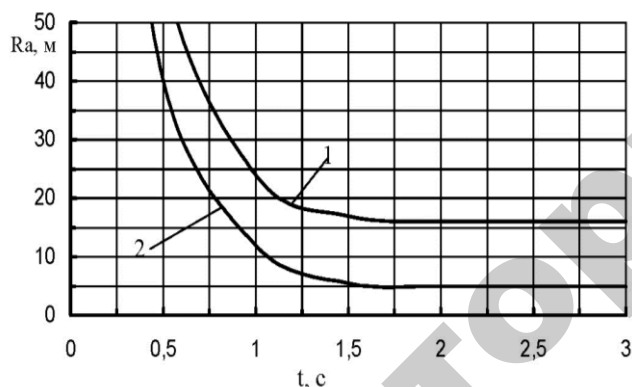


Рисунок 2. Динамика изменения радиуса поворота МТА во времени: 1 –  $\alpha = 0,2$  рад; 2 –  $\alpha = 0,5$  рад.

Следует понимать, что в реальных условиях эксплуатации время выхода МТА на минимальный радиус поворота будет большим, поскольку угол поворота управляемых колес будет изменяться от 0 до установленного значения.

Полученные результаты дали возможность построить зависимость минимального радиуса поворота МТА от управляющего влияния – угла поворота управляемых колес трактора. На рис. 3 представлены две кривые. Первая из них – это теоретическая зависимость  $R_a = f(\alpha)$  при статическом, а вторая – при динамическом повороте агрегата.

Режим статического поворота определяется из системы уравнений (1) при соблюдении следующих условий:  $Y_a = K = 0$ .

Анализ данных, представленных на рис. 3, показывает, что наибольшая разница между значениями параметра  $R_a$  имеет место при  $\alpha = 0,2$  рад, но и она не превышает 10 %.

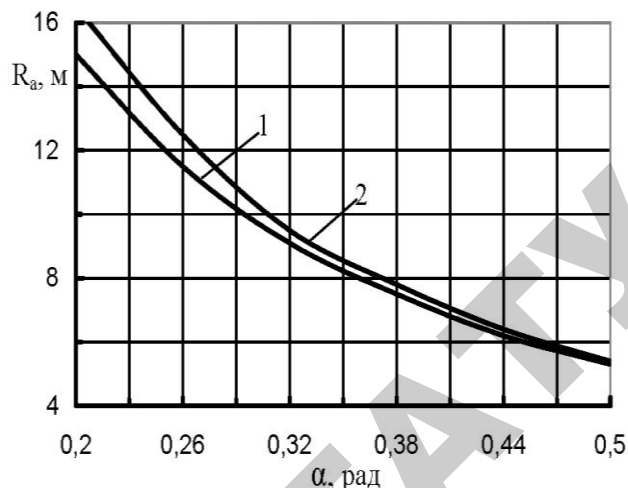


Рисунок 3. Зависимость статического (1) и динамического (2) радиусов поворота МТА от управляющего воздействия – угла  $\alpha$

### Выводы

Для решения многих проблем, связанных с изучением динамики поворота прицепных машинно-тракторных агрегатов, достаточно ограничиться рассмотрением более простого в аналитическом плане установившегося режима движения МТА. В наибольшей степени это приемлемо для широкозахватных машинно-тракторных агрегатов, скорость движения которых на повороте зачастую находится в диапазоне 1,5...1,9 м/с (5,4...7 км/ч).

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка / Н.Э. Фере [и др.]. – М.: Колос, 1978. – 256 с.
2. Надыкто, В.Т. К анализу поворотливости прицепного жатвенного агрегата / В.Т. Надыкто // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – К.: Урожай, 1988. – Вып. 67.
3. Масалабов, В.М. Исследование динамической поворотливости двухмашинного МТА / В.М. Масалабов, В.Т. Надыкто // Научный вестник Таверического государственного агротехнологического университета. – Мелітополь: ТГАТУ, 2012. – Вып. 2, т. 3. – С.15-26.
4. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / С.А. Иофинов. – М.: Колос, 1974. – 480 с.
5. Тракторы: теория: учебник для студентов вузов по специальности «Автомобили и тракторы»/ В.В.Гуськов [и др.]; под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 03.07.2015