

## ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ МАНЕВРИРОВАНИЯ КОЛЁСНЫХ И ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА ПРАКТИКЕ

проф. А.А.Шермухамедов

Ташкентский государственный транспортный университет

[sheraziz@mail.ru](mailto:sheraziz@mail.ru)

докторант, С.Р.Шадиев

Ташкентский государственный транспортный университет

[Shadiev0080@gmail.com](mailto:Shadiev0080@gmail.com)

С.А.Асомов

Технологический центр сельскохозяйственного машиностроения

### АННОТАЦИЯ

*В настоящем отчете рассмотрены вопросы повышения производительности МТА на базе трактора с колесной схемой 4К4 и эффективности использования поливного гектара совершенствованием конструкции трактора путем разработки научно обоснованных рекомендаций (технических решений) по улучшению его поворачиваемости. Исследованию поворота колесных тракторов и машинотракторных агрегатов (МТА) посвящено большое количество работ, анализ которых показывает, что объектом исследований являлись не только колесные, но и гусеничные тракторы и агрегаты на их базе.*

**Ключевые слова:** поворот, трактор, кинематика, анализ, механизм.

## REVIEW OF KNOWN VARIOUS METHODS OF MANEUVERING WHEELED AND TRACKED VEHICLES IMPLEMENTED IN PRACTICE

### ANNOTATION

*This report examines the issues of increasing the productivity of an MTA based on a tractor with a 4K4 wheel arrangement and the efficiency of using an irrigated hectare by improving the design of the tractor by developing scientifically based recommendations (technical solutions) to improve its turning ability. A large number of works have been devoted to the study of the rotation of wheeled tractors and machine-tractor units (MTA), the analysis of which shows that the object of research was not only wheeled, but also tracked tractors and units based on them.*

**Key words:** turn, tractor, kinematics, analysis, mechanism.

## ВВЕДЕНИЯ

Развитие сельскохозяйственного производства Узбекистана во многом зависит от технического обеспечения, разработки и внедрения высокоэффективных машин, уровня использования техники, повышения качества механизированных работ. Современная технология в сельском хозяйстве, мощность и качество техники и механизмов должны удовлетворять дехкан, обеспечивая их более дешевой техникой, удобрениями и другими материальными ресурсами

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Большой вклад в развитие учения о механике сельскохозяйственных машин, тракторов и агрегатов внесли В.П.Горячкин [4], М.Н.Летошнев [5], Б.А.Линтварев [6], С.А.Иофинов [7...10], Ю.К.Киртбая [2], В.Л.Березовский [11], Л.Т.Пашедко [12], В.З.Бубнов [13-15], Н.Э.Фере [16], Д.А.Чудаков [17, 18] и мн. др. Результаты фундаментальных исследований этих авторов позволили разработать высокопроизводительные МТА для выполнения различных технологических механизированных операций. Созданы теоретические основы земледельческой механики, системы машин для различных регионов. Основные положения этих работ использованы также в создании и совершенствовании хлопковых МТА. Для разработки кинематической и динамической моделей поворота хлопкового МТА нами использованы основные теоретические выкладки и методы исследования указанных работ. Вопросам поворота (динамики и кинематики) ведомой точки агрегата при движении ведущей точки по дуге окружности или по прямой посвящены работы С.А.Иофинова [8, 9]. В работах [2, 12] авторы показали, что большое влияние на кинематику агрегатов имеют условия и режимы их эксплуатации (почвенные условия, скорость движения). Авторами работ [2, 5...16, 18] установлено и предложено использование эмпирических зависимостей для практических расчетов по оценке поворотливости МТА. Предложены аналитические зависимости для характеристики маневренности машинного агрегата в месте с регрессионными и конструктивными кинематическими параметрами, которые в полной мере характеризуют маневренность машинного агрегата как сложное свойство, зависящее от его поворотливости и курсовой устойчивости [14]. В работе [19] для разных видов поворотов агрегатов предложены аналитические зависимости для определения длины каждого элемента и обоснована возможность расчета длины любого поворота на ЭВМ по единой формуле, с учетом коэффициента участия отдельных типовых элементов.

В работе [20] предложено использовать поправочные коэффициенты к известным формулам, учитывающим несимметричность траекторий движения

МТА и позволяющим снизить погрешность кинематических расчетов. Обработка большого количества опытных данных по исследованию различных видов поворотов позволила автору работы [10] с достаточным для практических целей приближением принять, что между радиусом поворота и шириной захвата агрегата существует функциональная зависимость. У агрегатов с навесными сельскохозяйственными машинами, по сравнению с прицепными, радиус поворота меньше на 10... 15%. Длина дуги поворота в основном определяется радиусом поворота агрегата. Авторы работ [10, 14, 19, 20] в целях упрощения расчетов рассматривают повороты МТА при их постоянном радиусе. Все вышеперечисленные работы посвящены, в основном, исследованию поворотливости МТА на базе тракторов с колесной схемой 4К2 и 4К4 с учетом динамической поворачиваемости агрегата. Весомый вклад в изучение поворотливости, управляемости и кинематики МТА на базе колесных тракторов типа 4К4 и 4К2 с передними управляемыми колесами внесли авторы [21...23, и др.].

Кинематика агрегатов на базе тракторов, имеющих шарнирную раму, получила свое развитие в работах [24...27]. Так, в работе [24] рассмотрено влияние различных факторов на ряд операций, связанных с непроизводительными затратами времени, но не изучено влияние отдельных факторов на показатели кинематики поворота и не исследована кинематика поворота навесных агрегатов. В работе [27] проведен математический анализ статистических данных, получены уравнения, коэффициенты регрессии которых позволяют описать кинематику поворота конкретного агрегата, но их невозможно использовать для оценки поворотливости навесных хлопковых МТА.

Совершенствование показателей МТА на базе эксплуатационных тракторов потребовало решения ряда задач поворотливости и разработки методов определения траекторий поворота различных агрегатов. В работе [28] предложены графоаналитический метод исследования поворота колесного трактора и дифференциальное уравнение движения его ведомой точки. Однако, все уравнения, предложенные автором, относятся к установившемуся повороту с постоянным радиусом траектории движения МТА. Основные положения кинематики агрегатов были систематизированы и углублены [4,18]. Описанные в вышеупомянутых работах приближенные уравнения так называемой квазиклотоидной кривой наиболее близко приближаются к действительной радиодальной спирали перехода. Главная особенность переходных кривых заключается в том, что в начале перехода они имеют радиус кривизны, равный бесконечности, затем плавно уменьшаются до заданного, обеспечивая

постоянное нарастание центробежной силы от  $O$  до  $\frac{mV^2}{R}$ ; а предложенная радиодальная спираль является идеальной кривой.

Уравнения движения МТА на повороте, полученные автором [8, 9], и предложенная им методика проведения теоретических исследований условий поворота, с учетом переменного радиуса кривизны траектории движения, послужили методологической базой исследований кинематики агрегатов, применяемых при выполнении механизированных технологических операций. Отмечая принципиальную теоретическую ценность уравнений автора, надо отметить некоторую громоздкость и сложность расчетов по ним.

Сравнение показателей поворота агрегатов, проведенное в работе [28], при достижении минимального радиуса по клотоиде и кубической параболе показали, что при вычислении холостых поворотов и вычерчивании петель в качестве переходных кривых можно пользоваться уравнением параболы. Важнейшим эксплуатационным кинематическим показателем агрегата является компактность криволинейных движений. В работе [8] дана оценка компактности поворота по специальному критерию поворотливости агрегата; предложено полуэмпирическое выражение по оценке поворотливости агрегатов на базе колесных тракторов, не только с точки зрения конструкции МТА (трактора, длины его базы), но и эксплуатационных показателей, учитывающих также квалификации оператора.

Непроизводительные затраты времени и величина кинематических показателей МТА при выполнении сельскохозяйственных операций изучены в работах [15, 22]. В работе [2] рациональные виды, параметры и режимы поворотов агрегатов предложено определять двумя методами: графически - по кинематической характеристике агрегата и графоаналитические - с использованием номограмм, разработанных автором. Анализ предлагаемой методики показывает, что введение безразмерного параметра режима поворота с более точным определением исходных значений показателя поворотливости, благодаря учету вероятностного характера внешних факторов, позволяет, производит более полную оценку кинематических возможностей сельскохозяйственных тракторов с навесными МТА.

В работах [15, 22, 29] отмечается широкое использование универсально – пропашных тракторов класса тяги  $20 \text{ кН}$  как с традиционной колесной схемой 4К4 (передние колеса управляемые и с меньшим размером радиуса), так и схемой со всеми управляемыми и приводными колесами одинакового размера радиуса. В результате теоретического анализа рекомендованы рациональные размеры продольной базы и угла поворота управляемых колес универсально –

пропашного трактора с колесной схемой 4К4, позволяет обеспечить предусмотренную агропробовани маневренность.

Более предпочтительной является колесная схема со всеми приводными и управляемыми колесами одинакового размера, когда поворот задних колес начинается лишь после поворота передних колес на угол 10-12°. Этому вопросу посвящен ряд работ [7, 21, 22, 24, 29]. Основной способ поворота колесных тракторов - поворот управляемых колес в горизонтальной плоскости. Обычно в качестве управляемых используют передние колеса, которые могут быть меньше задних (в универсально пропашных тракторах) или одинакового с ним размера. Тракторы, чаще всего полноприводные, приводят в движение всеми управляемыми колесами. Направление движения таких тракторов изменяют двумя способами: передние и задние колеса поворачиваются в разные стороны, и трактор движется по окружности, которой является пересечение вращения колеса; все колеса поворачиваются в одну сторону, таким способом при повороте можно предотвратить сползание тракторов, работающих на косогорах, сместив все колеса на некоторый угол в сторону, противоположную направлению сползания. Основные недостатки способа поворота тракторов с управляемыми колесами - относительная сложность привода рулевого управления и трудность получения малого радиуса поворота с увеличением минимальной колеи трактора, при которой повернутые на максимальный угол управляемые колеса не касаются остова трактора. Эти недостатки наиболее ощутимы при колесах большого диаметра. Такие недостатки способа изменения направления движения тракторов с управляемыми колесами привели к появлению схемы поворота по способу «складывающейся рамы», применяемому на полноприводных колесных тракторах общего назначения. Они представляют собой систему из двух шарнирно сочлененных секций, которые могут поворачиваться относительно друг – друга в двух плоскостях. Направления движения таких тракторов изменяют поворотом одной секции относительно другой в горизонтальной плоскости на некоторый угол [31]. По сравнению со способом поворота полноприводных машин при помощи управляемых колес, рассмотренный способ поворота колесного трактора имеет некоторые преимущества: возможность получения малых радиусов поворота; хорошую маневренность и уменьшение числа шарниров в трансмиссии, так как оси колес неподвижны по отношению к секциям. Несмотря на перечисленные преимущества, имеются существенные недостатки: тракторы с шарнирной рамой не способны работать на склонах и совершать прямолинейное движение при междурядной обработке растений [30, 31]. В связи с этим созданы новые тракторы с четырьмя ведущими неповоротными колесами и изменением

направления движения по схеме поворота гусеничного трактора. Колесные тракторы с такой схемой поворота называют машинами с бортовым поворотом [31]. Передние и задние колеса каждого борта такого трактора соединены между собой зубчатой или цепной передачей. При повороте трактора включают колеса одного борта, а при необходимости крутого поворота тормозят их. В такой конструкции отсутствует сложная в изготовлении и эксплуатации шарнирная передача крутящего момента к ведущим и управляемым колесам. Однако этот способ не получил распространения на колесных тракторах, так как при повороте шины трактора проскальзывают по опорной поверхности, что вызывает их повышенный износ и уплотнение почвы. Кроме того, увеличиваются затраты мощности двигателя на преодоление значительно возросшего (по сравнению с прямолинейным движением) сопротивления при повороте трактора. Особо возрастает сопротивление повороту на грунте в результате сгребания грунта неповоротными колесами. Отмеченные недостатки существенно снижают технико-экономические показатели колесных тракторов с бортовой схемой поворота [31].

Во всех известных конструкциях тракторов и МТА на их базе минимальный радиус поворота  $R_{min}$  зависит от продольной базы  $L$  трактора и возможного максимального угла  $L_{max}$  отклонения колеса от нейтрального положения. Обычно  $L_{max}=35...45^{\circ}$  [8, 30, 32]. Оба эти параметра имеют конструктивное ограничение. В работах [17, 18, 32] вкратце рассматривается кинематика поворота трактора с колесной схемой 3К2 с одним управляемым колесом.

## РЕЗУЛЬТАТ

### Расчет кинематических характеристик рулевого привода, обеспечивающих наилучшее условий «чистое» качения управляемых колес

Высокие маневренные качества 3-х колесного пропашного трактора в свое время обеспечили ему преимущество при выборе энергетики для механизации полевых работ в сельском хозяйстве. Однако тракторы такого типа имеют существенные недостатки:

- низкую поперечную устойчивость, исключаящую безопасное применение их на транспортных работах;
- ограниченные тягово-сцепные качества и малую суммарную грузоподъемность шин, исключаящие агрегатирование их с тяжелыми навесными широкозахватными орудиями;
- сложность создания достаточно эффективной полноприводной конструкции трактора;

-невостробованность в сельхозпроизводстве в течение почти 4-5 месяцев (с ноября по март).

Такие недостатки отсутствуют у четырехколесных пропашных тракторов (4x4 и 4x2). Однако они в зоне хлопкосеяния применяются в настоящее время в основном при возделывании нехлопковых культур и на транспортных работах. Для обработки хлопчатника они не используются, т.к. из-за большого радиуса поворота требуют более широких поворотных полос, покрываемых большим количеством следов с большой площадью вытаптывания и практически полным уничтожением растений хлопчатника в зоне поворотных полос.

Четырехколесные тракторы имеют также недостаточный для работ в междурядьях хлопчатника агротехнический просвет (клиренс).

В течение ряда лет в Узбекском НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства (УзМЭИ) проводятся НИР по созданию полноприводного 4-х колесного хлопководческого трактора, абрисные характеристики и маневренные качества которого были бы близки к трехколесному трактору.

В состоянии маневрирования любому транспортному средству необходимо обеспечить перекачивание управляемых колес без бокового проскальзывания и боковой деформации шин. Для этого, при повороте, они должны отклоняться от нейтрального положения на различные углы (наружное колесо на меньший ( $\beta_n$ ), а внутреннее - на больший угол ( $\beta_{вн}$ )) и при этом должно быть обеспечено следующее условие:

$$ctg\beta_n - ctg\beta_{вн} = \frac{M}{L}, \quad (1.1)$$

где  $M$  - расстояние между осями валов поворотных цапф;  $L$  - продольная база трактора,  $\beta_n$  - угол поворота наружного колеса,  $\beta_{вн}$  - угол поворота внутреннего колеса.

Условие (1.1) обеспечивается рулевой трапецией, все размеры которой подбираются индивидуально в соответствии с колесной базой ( $L$ ) и расстоянием между осями валов поворотных цапф ( $M$ ). Из уравнения (1.1) следуют важные выводы:

-разность котангенсов углов отклонения направляющих колес есть величина постоянная независимо от радиуса поворота;

-минимальный радиус поворота трактора обеспечивается при отклонении управляемых колес от нейтрального положения на возможно больший угол.

Обзор многочисленных исследований рулевых трапеций транспортных средств показал, что 4-х звенный механизм (трапеция Жанто), осуществляющий кинематическую связь между управляемыми колесами не обеспечивает чистого качения управляемых колес при маневрировании, а при больших углах поворота

вообще утрачивает свои функциональные возможности из-за начинающегося загребания грунта колесами. Отсюда следует, что повышение маневренных качеств 4-х колесного трактора, а следовательно проблема уменьшения радиуса поворота, напрямую связана с дальнейшим совершенствованием рулевого привода.

В мировом тракторостроении такие попытки совершенствования предпринимаются. Например, на ряде сельскохозяйственных 4-х колесных тракторов зарубежных фирм (Массей Фергюсон, Кейс, Джон Дир) наибольший угол отклонения направляющих колес достиг  $55^{\circ}$  (обычно - не более  $45^{\circ}$ ), при этом радиус поворота снизился до 4-х метров, однако, существенно превышает радиус поворота 3-х колесного трактора (менее 3-х метров).

В УзМЭИ совместно с СКБ «Трактор» разработан рулевой привод, позволяющий обеспечить соблюдение условия (1.1) при значительно больших углах отклонения управляемых колес от нейтрального положения. Достигается это при помощи рулевого привода, кинематическая схема которого показана на рис. 1.1., в сочетании с независимым подводом мощности к мостам трактора. Например, задний мост имеет механический привод, а передний – гидравлический. Совместная работа мостов обеспечивает условие чистого качения управляемых колес в режиме прямолинейного движения и при отклонениях управляемых колес на угол от  $0^{\circ}$  до  $45^{\circ}$ , после чего задний мост отключается и движение трактора с управляемыми колесами, повернутыми на углы более  $45^{\circ}$ , происходит за счет привода колес только переднего моста.

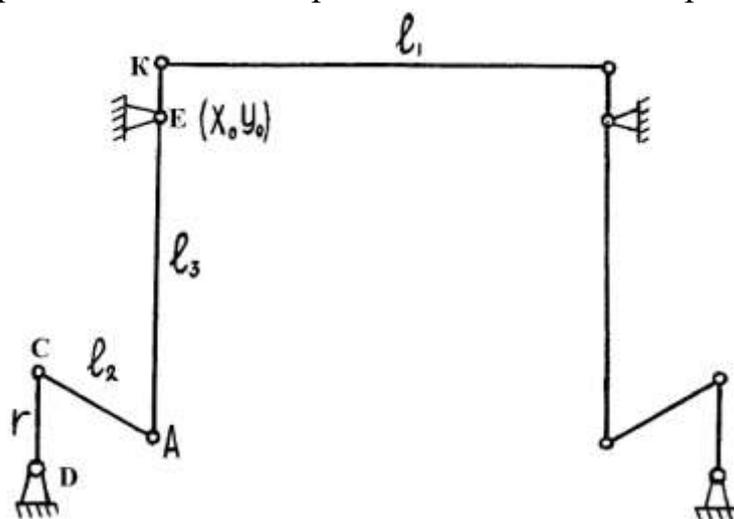


Рис. 1.1 Схема рулевого привода

Предлагаемый рулевой привод включает в себя поворотные рычаги, жестко связанные с валами поворотных цапф передних колес, промежуточные

звенья и управляющие звенья в виде двуплечих рычагов, связанных между собой поперечной тягой.

В нейтральном положении рулевого привода, соответствующем прямолинейному движению трактора, управляющие двуплечие рычаги и поперечная тяга образуют прямолинейную П-образную фигуру.

Для определения основных геометрических (линейных и угловых) параметров указанного рулевого привода был разработан алгоритм и программа. Вычисления проведены с учетом конструктивной привязки привода к хлопководческому трактору ТТЗ 100.11, имеющему продольную базу  $L=2300$  мм и расстояние между осями валов поворотных цапф  $M=1690$  и  $2290$  мм соответственно при колее  $1800$  мм и  $2400$  мм.

В процессе расчетов на ЭВМ, варьируя величинами  $r, l_2, l_3, X$  и  $Y$ , при постоянных  $M$  и  $L$ , были выбраны такие их значения, которые при изменении угла  $\beta_n$  от  $0$  до  $\beta_{н\max}$  обеспечивали значения угла  $\beta_n$  минимально отличающиеся от его расчетного значения  $\beta_{нр}$  т.е.  $\Delta = \beta_n - \beta_{нр} \rightarrow \min$ ,

Согласно (1.1)

$$\beta_{нр\text{ас}} = \arctg(\text{ctg}\beta_{н\text{н}} + M/L).$$

Таблица 1.1.

Параметры рулевого привода полученным расчетным путем.

| Продольная база трактора $L$ , мм | Колея трактора $B$ , мм | Расстояние между осями валов повор. Цапф. | Угол установки поворотных рычагов к продольной оси, $\gamma$ град. | Размеры элементов рулевого привода, мм |       |       |     |     |              |            |
|-----------------------------------|-------------------------|---|--|--|-------|-------|-----|-----|--------------|------------|
|                                   |                         |   |  | $l_1$                                  | $l_2$ | $l_3$ | $X$ | $Y$ | $\beta_{нн}$ | $\beta_n$  |
| 2300                              | 1800                    | 1690                                      | -10/+10  | 180                                    | 262   | 540   | 235 | 600 | $110^\circ$  | $70^\circ$ |
| 2300                              | 2400                    | 2290                                      | -10/+10  | 180                                    | 271   | 540   | 235 | 600 | $117^\circ$  | $63^\circ$ |

$R_{\min}=2,56$  м. У трактора с колесный формулой 3К2  $R_{\min}=2,65$  м.

Наименьшие отклонения действительных значений углов  $\beta_n$  от теоретического:

а) при крайних положениях рулевого привода  $\Delta^0 \geq 0,4^0 \dots 0,7^0$ ;

б) в диапазоне изменения  $\beta_{нн}$  от нуля до  $\beta_{нн\max}$   $\Delta_{\max}=3,4^0$ .

При крайних положениях рулевого привода:

-центр поворота трактора совпадает со следом от проекции на опорное основание точки пересечения оси заднего моста с продольной осью симметрии трактора;

-колеса заднего моста должны вращаться в противоположные стороны и перекачиваться по одной окружности с радиусом равным половине колеи трактора;

-поворот трактора совершается только за счет привода управляемых колес переднего моста при отключенном привода задних колес.

Таблица 1.2

Экспериментальные данные в сравнении с теоретическими.

| Варианты | Колея, мм | Угол поворота внутреннего колеса, $\beta_{вн}$ град. |       | Угол поворота наружного колеса, $\beta_{н}$ град. |       | Радиус поворота R, м |       |
|----------|-----------|--|-------|---|-------|----------------------|-------|
|          |           | теор.  | факт. | теор.   | факт. | теор.                | факт. |
| 1        | 1800      | 111,2  | 112   | 68,5  | 67    | 2,49                 | 2,56  |
|          | 2400      | 116,5  | 117   | 63,1  | 62    | 2,60                 | 2,68  |
| 2        | 1800      | 111,2  | 109   | 68,5  | 68    | 2,49                 | 2,59  |
|          | 2400      | 116,5  | 115   | 63,1  | 63    | 2,60                 | 2,73  |

Скорость движения трактора на повороте 4,2 км/час.

### Динамическая поворачиваемости трактора.

Теория криволинейного движения колесных тракторов с учетом динамических факторов наиболее подробно рассмотрена в работах [25, 30, 33]. Экспериментально изучены влияния способов движения, длины и ширины загона на величину коэффициента рабочих ходов и производительность агрегатов при выполнении сельскохозяйственных операций. Кинематические характеристики скоростных агрегатов с учетом динамических факторов обстоятельно рассмотрены в работе [12]. Для характеристики поворотливости рекомендовано применять показатель динамической поворотливости агрегата. Анализ формул, полученных автором, показывает, что числовые значения показателя динамической поворотливости агрегата с увеличением скорости движения трактора увеличиваются, то есть поворотливость ухудшается. Этот показатель определен для четырехколесного трактора. В диапазоне скоростей от 1,5 до 3,0 м/с показатель динамической поворотливости находился в пределах: стерня  $K_{п}=14,5...34,6 \text{ м}^2$ ; вспаханное поле  $K_{п}=12,4...36,5 \text{ м}^2$  [13].

Оптимальная скорость движения агрегата  $V_{\text{опт}}$ , соответствующая минимуму затрат времени на поворот ( $t_{\text{min}}$ ), определяется выражением [12]:

$$V_{\text{опт}} = R / \sqrt{A},$$

где  $R$  – радиус кривизны траектории поворота;  $A$  – коэффициент пропорциональности. Расчетное значение скорости поворота агрегата  $V_{\text{опт}}$  не должно превышать допустимый уровень  $V_{\text{опт}}$ , определяемый условиями

безопасной работы и другими факторами. Показатель поворотливости зависит от ряда факторов, основными из которых являются агрофон, скорость движения на повороте, интенсивность управляющего воздействия, тяговое сопротивление агрегата, вес навесной машины. При выборе рациональных видов поворотов, их кинематических параметров и режимов движения нужно руководствоваться следующими правилами: средняя скорость движения на повороте должна быть равна предельно допустимой  $V_n$ , не превышающей 2,2...2,6 м/с (8,0...9,5 км/ч); интенсивность переменного управляющего воздействия (угловая скорость поворота управляемого колеса) должна составлять примерно 0,2...0,22 рад/с; длительность переменного управляющего воздействия  $t$  на механизм поворота на участках переменной кривизны должна быть такой, чтобы более полно использовался конструктивный угол направляющих колес [12].

### ОБСУЖДЕНИЕ

#### Определение угла наклона боковых рычагов рулевой трапеции при нейтральном положении колес

Для получения правильного соотношения между углами поворота внутреннего колеса и внешнего колеса необходимо, чтобы форма и размеры элементов рулевой трапеции были согласованы с базой и шириной трактора. Точное выполнение уравнения (1.1) при помощи рулевой трапеции невозможно. Вследствие этого наблюдается скольжение направляющих колес при повороте, которое вызывает повешенный износ резины и затрудняет управление трактором.

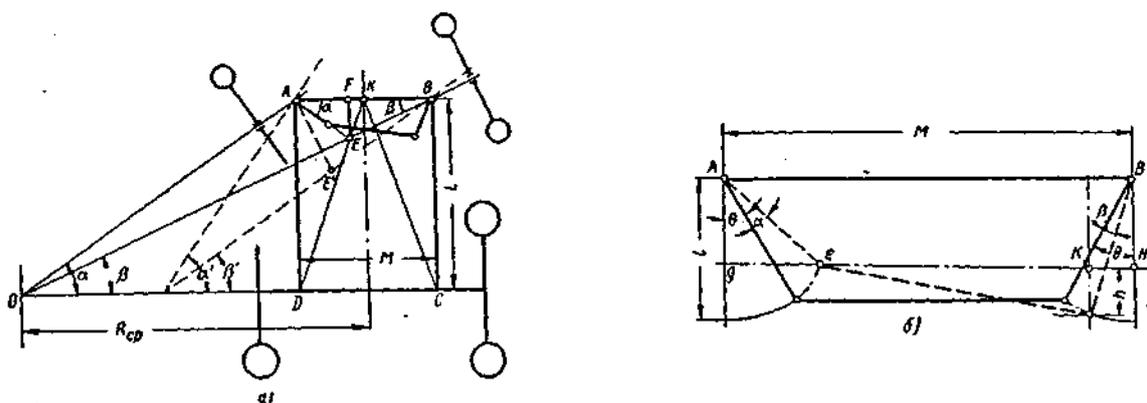


Рис. 1.2. Схема рулевой трапеции.

При конструировании стремятся так подобрать размеры элементов трапеции, чтобы их соотношение обусловило минимальное отклонение углов от их теоретических значений.

Аналитическое определение параметров трапеции сложно, поэтому принято пользоваться графическими методами. Один из графических методов

показан на рис. 2.4, а, где изображена схема поворота трактора ( $R_{cp}$  – средние радиус поворота).

Для поворота направляющих колес без скольжения необходимо, чтобы линии, проходящие через их оси, пересекались в одной точке, лежащей на линии задних колес точка  $O$ .

Точку  $K$ , лежащую на продольной оси симметрии трактора при пересечении с передней осью  $AB$ , соединяют с точкой  $D$ , вводящейся на пересечении перпендикуляра, опущенного из  $A$  на заднюю ось трактора. Точку  $E$ , которая получается при пересечении линии  $KD$  и  $OB$ , соединяют с точкой  $A$  осью левого шарнира. Полученный в результате построения угол  $EAK$  равен углу  $\beta_{вн}$ .

Проведем перпендикуляр из точки  $E$  на переднюю ось трактора  $AB$ .

Тогда

$$ctg\beta_{вн} = ctg\angle KAE = ctg\angle FAE = \frac{AF}{EF} = \frac{0.5M - KF}{EF};$$

$$ctg\beta_{н} = \frac{BF}{EF} = \frac{0.5M + KF}{EF}.$$

Таким образом,

$$ctg\beta_{н} - ctg\beta_{вн} = \frac{2KF}{EF} = \frac{M}{L}.$$

Следовательно, в идеальном рулевом механизме, допускающем проскальзывания колес, точки пересечения сторон углов  $\beta_{вн}$  и  $\beta_{н}$  всегда должны располагаться на прямой  $KD$ . В действительности при повороте трактора, например, вокруг центра  $O'$ , наружное колесо повернется на угол  $\beta_{вн}' = \angle KAE'$ . В результате точке  $E'$  не будет лежать на диагонали  $KD$ . При различных значениях угла  $\beta_{н}$  положение точки  $E$  относительно прямой будет меняться.

Основным фактором, определяющим кинематику рулевой трапеции, является угол  $\theta$  наклона баковых рычагов при нейтральном положении колес. Выбор угла  $\theta$  является основной задачей конструктора.

На рисунке б показана схема рулевой трапеции, на которой положение тяг рычагов при прямолинейном движении трактора изображено сплошными линиями, а при повороте – штриховыми линиями.

Расстояние между шкворнями поворотных цапф,

$$M = GE + EN + NH,$$

откуда

$$EN = M - GE - NH,$$

где

$$GE = l \sin(\theta + \beta_{вн}), \quad NH = l \sin(\theta + \beta_{н}).$$

Таким образом,

$$EN = M - l \sin(\theta + \beta_{\text{вн}}) - l \sin(\theta - \beta_{\text{н}}). \quad (1.2)$$

с другой стороны,

$$EN = \sqrt{EF^2 - FN^2} = \sqrt{(M - 2l \sin \theta)^2 - [l \cos(\theta - \beta_{\text{н}}) - l \cos(\theta + \beta_{\text{вн}})]}. \quad (1.3)$$

Решая уравнения (2) и (3) относительно  $\beta_{\text{н}}$ , получим

$$\beta = \theta + \operatorname{arctg} \frac{l \cos(\theta + \beta_{\text{вн}})}{M - l \sin(\theta + \beta_{\text{вн}})} - \operatorname{arcsin} \frac{l + 2M \sin \theta - 2l \sin^2 \theta - M \sin(\theta + \beta_{\text{вн}})}{\sqrt{M^2 + l^2 - 2Ml \sin(\theta + \beta_{\text{вн}})}}$$

(1.4)

Уравнение (1.4) устанавливает связь между фактическими углами поворота колес и параметрами рулевой трапеции.

Для определения оптимального угла  $\theta$  рулевой трапеции, который при заданных параметрах  $M, L, l$  обеспечивал бы наилучшие результаты, пользуются графиком, построенным на основании уравнений (1.1) и (1.4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Анализ кинематической поворачиваемости МТА на базе универсально-пропашных тракторов с колесной схемой 4К2 и 4К4 показал, что они не учитывают технологию производства хлопка-сырца (ширина междурядий). Изучение динамической поворачиваемости МТА выявило, что мало изучены вопросы влияния силовых параметров (крутящие моменты на ведущих колесах, продольные, боковые и нормальные реакции колес, силы и моменты возникающие при повороте) на маневренность средств механизации для междурядной обработки. Установлено, что резервом дальнейшего повышения производительности МТА и сокращения отчуждения посевных площадей на разворотные полосы является совершенствование поворачиваемости базового трактора.

2. Обоснованы параметры рулевого привода экспериментального трактора, позволяющего обеспечить высокую его маневренность. Установлено, что минимальный радиус поворота ( $R < 3$  м) можно получить при повороте внутреннего колеса на угол  $\beta_{\text{вн}} = 116^\circ$ , при этом должно быть  $\beta_{\text{н}} = 63^\circ$ . При коле  $V = 1800$  мм максимальное отклонение углов поворота соответствует  $\beta_{\text{н}} = 61^\circ$ , а для коле  $V = 2400$  мм - при  $\beta_{\text{н}} = 34,6^\circ$ . Дальнейшее увеличение углов поворота приводит к резкому уменьшению разницы отклонения  $\Delta^\circ$ . Вместе с тем необходимо отметить, что при реализации предлагаемой схемы рулевого привода очень важным вопросом является обеспечение работы рулевого привода. На экспериментальном тракторе для этого используется объемный

гидравлический привод. Недостатком этой схемы является то, что гидроцилиндр поворачивается на  $90^{\circ}$  и более, что повышает риск заклинивания рулевого привода. Нами также предлагается вариант использования классической рулевой трапеции (теоретически обеспечивающий поворот рулевых колес на  $80^{\circ}$ ), для которого сделаны расчеты и определены его оптимальные углы компоновки. Установлено, что для данной трапеции оптимальным значением угла  $\theta$  наклона баковых рычагов при нейтральном положении колес, является значение при 10 градусах. Предложен графо-аналитический метод определения параметров рулевого привода высокоманевренного 4-х колесного трактора.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Каримов И.А. Прогресс дехканского хозяйства - путь к изобилию: Выступление на заседании Кабинета Министров Республики Узбекистан от 3 февраля 1994г. -Т.: Узбекистан, 1994.-70 с.
2. Киртбая Ю.К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. 2-е изд., -М.: Колос 1982. -319 с., ил.
3. Талипов Г. А. Земельные ресурсы Узбекистана и проблемы их рационального использования. - РЦНТИ: Узинформагрупп. 1992.-235с., ил.
4. Горячкин В.П. Собрание сочинение В трех томах, 2-е изд., М.: Колос, 1968. Т. 1.- 720с.
5. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. М.: 1955, -746 с.
6. Линтварев Б.А. Научные основы повышения производительности земледельческих агрегатов. М.: Московская правда. 1962. –605 с.
7. Иофинов С.А. и Березовский В.А. О поворотливости колесного тракторного агрегата / Тракторы и СХМ, 1960. - № 1.
8. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка М.Колос.1974., -480 с.
9. Иофинов С.А. О построении траектории центра агрегата при переменном радиусе поворота. –Записки ЛСХИ. т. ХП. Л. 1956.
10. Иофинов С.А., Лышко Г.П. Эксплуатация Машинно-тракторного парка М.: Колос, 1984. - 354с.
11. Березовский В.Л. Исследования кинематики навесных колесных агрегатов: Автореф. дис.... к.т.н.. – Волгоград, 1962.
12. Пашедко Л.Т. Исследование кинематических характеристик технологических поворотов колес тракторных агрегатов, работающих на повышенных скоростях. Дисс... к.т.н., Л.- Пушкин, 1965.

13. Бубнов В.З. Маневренность с/х машинных агрегатов и ее оценка по результатам полевых кинематических испытаний //Совершенствование эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники. - М., 1987.
14. Бубнов В.З. Сравнительная характеристика петлевых поворотов машинных агрегатов на полевых работах// Труды ВСХИЗО, М. 1981.
15. Бубнов В.З. Определение рациональных по затратам времени параметров колесных МТА с навесными с/х машинами: Дисс... к.т.н., М: ВСХИЗО, 1967.
16. Фере Н.Э. Пособие по ЭМТП. - М.: Колос, 1978, - 252 с.
17. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. - 2-е изд., - М.: Колос, 1972. - 384 с.
18. Чудаков Д.А. Основы теории с/х навесных агрегатов. –М; Машгиз, 1954. – 175 с.
19. Хузин В.Х. Методика определения длины поворотов агрегатов по единой формуле //Вопросы совершенствования эксплуатации машин в с/х. Деп. - Чебоксары, 1998.-110-115 с.
20. Тараторкин В.М. Особенности расчета поворотов МТА с высвобождением в ходе полевых работ. // Труды ВСХИЗО, М., 1985. - с.82-88.
21. Атаманов Ю.Е., Бруек А. Влияние средств повышения проходимости на радиус поворота колес. трак. //Вопросы проходимости с/х машин. - Благовещенск, 1981.
22. Бубнов В.З. Определение поворотливости и кинематических возможностей колес. Трак. // Механизация и электрификация с/х. 970,- № 10.
23. Ярмашевич Ю.И. О повороте трактора с 4-мя ведущими колесами. / Механизация и электрификация с/х, 1963, № 3.БИМСХ. - 45 с.
24. Хапитов А.Н. Исследование некоторых факторов, влияющих на производительность тракторных агрегатов: Дисс.... к.т.н., М.;МИИСП, 1967.
25. Митропан Д.М. Исследование кинематики и динамики поворота для трактора с ломающейся рамой : Дисс... к.т.н., Харьков,; 1968.
26. Горбунов М.С., Тищин М.Б. К вопросу кинематики поворота с шарнирной рамой. / Записки ЛСХИ том. 149, вып.4 1970.
27. Шадрина Н.И., Мартинов Б.Г. Исследование кинематических свойств энергонасыщенных колесных тракторов класса 3 в пахотных агрегатах. Л.- Пушкин. ЛСХИ.1986. –17с.

28. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость трактор/; М.: Машиностроение 1981,144с.
29. Вайзенен В.П. Исследование динамических и тяговых свойств трактора класса 1,4 т с колесной формулой 4К4 в полевых условиях и на стенде с беговыми барабанами: Дисс...к.т.н. Л-Пушкин 1973.
30. Трепененков И.И. Эксплуатационные показатели с/х тракторов. М: Машгиз. 1963. –272 с.
31. Тракторы (теория) /Под ред. д.т.н., проф. В.В.Гуськова М.: Машиностроение 1988,- 376с. ил.
32. Лебедев О.В., Шаль В.А. Конспект лекций по курсу "Теория основы расчета и анализ работы тракторов и автомобилей" Т.:ТИИИМСХ. 1980.- 30с.
33. Полканов И.П. Теория и расчет МТА. М: Машиностроение. 1964. –256 с.
34. Buriish tizimini takomillashtirishda olib borilayotgan ishlar tahlili. Shermuhamedov A.A., Asomov S.A., Shadiyev S.R. "Zamonaviy dunyoda innovatsion tadqiqotlar:Nazariya va amaliyot" 2023.
35. Shermuhamedov, A. A., S. R. Shadiyev, and X. J. Jumaniyazov. "Гидравлический дифференциальный механизм поворота трактора." research and education 1.7 (2022): 196-200.