

## МЕТОД КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОЙ МАШИНОЙ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ

*Андрей Бондарь*

*Таврический государственный агротехнологический университет  
Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: ban1977@i.ua*

*Andriy Bondar*

*Tavria State Agrotechnological University  
B. Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine E-mail: ban1977@i.ua*

**Аннотация.** Работа посвящена изучению методов контроля направлением движения мобильных машин. Рассмотрены наиболее перспективные решения, которые позволяют получать адаптивное передаточное отношение рулевого механизма в зависимости от условий движения мобильной машины. Определено, что основным эксплуатационным показателем колесной машины является её маневренность. Проанализированы составляющие показатели маневренности и определены её составляющие: управляемость, поворачиваемость, вписываемость. При этом каждый показатель имеет подуровни, которые также влияют на общую маневренность колесной машины. Установлено, что максимальный угол поворота управляющих колес не превышает  $40...55^{\circ}$ , а угол поворота рулевого колеса в каждую сторону составляет 1,5...3,0 оборотов. В результате анализа движения колесной машины вдоль «базовой линии» разработана кинематическая схема, которая дает наглядное представление о том, как располагаются остов машины, управляющие и ведущие колеса. Такой анализ позволил разработать дискретную математическую модель традиционного рулевого управления колесной машины, которая перемещается вдоль «базовой линии». Однако такое рулевое управление не отвечает всем требованиям по качеству отслеживания траектории на разных скоростных режимах. Поэтому была разработана дискретная математическая модель адаптивного рулевого управления колесной машины, которая позволяет менять передаточное отношение рулевого механизма в зависимости от скорости движения. Анализ данной математической модели показывает, что эффективность работы колесной машины возрастает. Это стало возможным потому, что появилась возможность значительно увеличить технологическую скорость машины и при этом сохранить все агротехнические требования на выполняемые работы.

**Ключевые слова:** система управления, маневренность, скорость движения, передаточное отношение, рулевой механизм, математическая модель, базовая линия.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из главных направлений повышения производительности тракторов в сельском хозяйстве является максимальное использование их тягово-мощностных свойств [1-3]. Это возможно только при увеличении рабочих скоростей энергетического средства. Однако работа на повышенных скорост-

ных режимах приводит к ухудшению стабильности технологических процессов в связи с увеличением чувствительности рулевого управления, так как с увеличением скорости колесной машины необходимо увеличивать и передаточное отношение рулевого механизма, а с уменьшением скорости, соответственно, уменьшать [4-6, 19]. Отметим, что под чувствительностью понимается интенсивность отклика объекта управления на единичный управляющее воздействие. Для управления направлением движения транспортного средства чувствительность рулевого управления есть отношение изменения угловой скорости машины к углу поворота рулевого колеса, которое его вызвало.

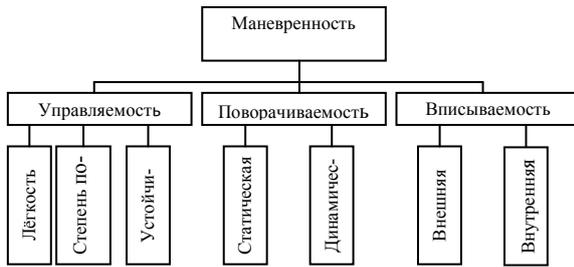
На сегодняшний день отсутствует такая сельскохозяйственная техника, рулевое управление которой полностью соответствовало бы этим требованиям [7]. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на создание рулевых управлений сельскохозйственных МТА, работающих на повышенных скоростных режимах и обеспечивают адаптивность передаточного отношения рулевого механизма в зависимости от скорости движения.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ традиционных систем управления движения мобильных машин показывает, что они как объект управления, являются интегратором с переменными параметрами. Можно предложить более эргономичный способ управления мобильными машинами, в рулевое управление которых встроенное дифференцирующее звено [8-10]. Практически это означает, что направление движения машины должно быть связано с положением рулевого колеса. Для оценки управляемости новых типов рулевых управлений были проведены исследования, они показали следующее: рулевое управление по положению обеспечивает на порядок более высокую точность отслеживания траектории движения и дает возможность снизить передаточное отношение рулевого привода [11]. Упрощение управления в этом случае снижает время реакции водителя вдвое, на порядок увеличивает точность отслеживания траектории [11, 12]. Маневренность колесной машины является её важным эксплуатационным свойством, которая определяет эффективность использования и безопасность движения [13-16].

Максимальный угол поворота управляющих колес обычно не превышает  $40...55^{\circ}$ . Максимальный

угол поворота рулевого колеса в каждую сторону в существующих конструкциях рулевых управлений составляет 1,5 ... 3,0 оборотов [2, 7, 11].



**Рис. 1.** Структура свойств маневренности колесной машины и машинно-тракторных агрегатов (на базе колесных тракторов)

**Fig. 1.** The structure of the properties of the machine and the maneuverability of the wheel tractor units (on the basis of wheel tractors)

В рамках существующих механических схем рулевых приводов чувствительность задается передаточным отношением рулевого управления  $W$ , как правило неизменным ( $W = \text{const}$ ) [2, 11, 18]. Передаточное отношение это отношение угла поворота рулевого колеса к углу поворота управляемых колес шасси. Для удобства при маневрировании передаточное отношение желательно снизить, а в транспортном (скоростном) – повысить. Такое техническое решение широко распространено практически на всех видах колесной техники. Это связано с тем, что изготовление рулевого управления с нелинейной характеристикой значительно дороже чем с линейной. Известно, что тихоходные машины имеют передаточное отношение рулевого управления – 4...6, а у скоростных автомобилей до 30. При проектировании рулевого управления передаточное отношение выбирается достаточно большим, чтобы обеспечить устойчивость движения на повышенных скоростях. Это приводит к неудобствам при маневрировании. Широко известны попытки косвенного преодоления этого технического противоречия в рамках механических схем. Например, технические решения, в основе которых является введение нелинейности в кинематику рулевого привода. В пределах малых отклонений управляемых колес от нейтрального положения назначается большое передаточное отношение, потому что это характерно для скоростных режимов. Большие отклонения управляемых колес характерны для маневрирования, поэтому с ростом этой величины передаточное отношение снижается [2, 11]. Однако нельзя не отметить, что такой подход не снимает полностью сути технического противоречия, в основе которого лежит линейная зависимость чувствительности от скорости движения.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

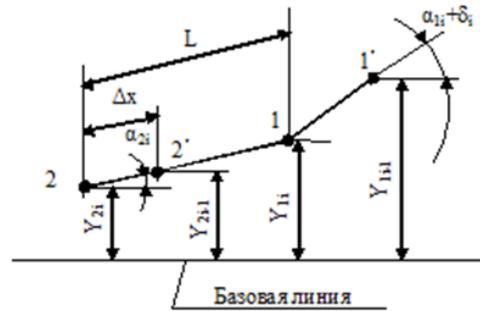
Задачей статьи является исследование способа движения колесной машины во время выполнения технологических операций, а также контроль откло-

нения от заданной траектории на повышенных скоростных режимах работы.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Кардинальное улучшение управляемости машин возможно на основе использования современных достижений автоматики. Таким образом, предлагается вариант рулевого привода, который обеспечивает высокую управляемость транспортных средств на всех скоростных режимах [11, 18, 20].

С этой целью было проанализировано движение колесной машины вдоль базовой линии (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема движения колесной машины вдоль базовой линии:  $L$  – длина колесной базы трактора;  $\alpha_1$  – угол поворота передних управляющих колес;  $\alpha_2$  – текущее значение курсового угла остова трактора;  $Y_1, Y_2$  – текущее значение отклонений от базовой линии переднего и заднего колес трактора соответственно;  $\Delta X$  – шаг квантования модели по перемещению

**Fig. 2.** Scheme of wheeled vehicle along the baseline:  $L$  – wheelbase wheel machine;  $\alpha_1$  – angle of the front steered wheels;  $\alpha_2$  – the current value of the yaw rate of the core of the tractor;  $Y_1, Y_2$  – the current value of deviation from the baseline of the front and rear wheels of the tractor, respectively;  $\Delta X$  – the quantization step model for moving

Приведенная схема перемещения колесной машины вдоль базовой линии позволяет провести кинематический анализ положения элементов кузова, рамы, управляющих и ведущих колес, а так же дает возможность разработать дискретную математическую модель адаптивного рулевого управления.

Дискретная математическая модель традиционного рулевого управления в данном случае имеет вид:

$$\begin{cases} \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W}; & \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ \alpha_{2i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{2i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{2i} \cdot \Delta x \end{cases} \quad (1)$$

где:  $V$  – скорость движения МТА, м/с;  $W$  – передаточное отношение рулевого механизма;  $\Delta t$  – шаг квантования по времени (0,05 с);  $\delta$  – значение возмущающего угла ввода эластичных шин, рад.

Во время движения, колесная машина отклоняется от заданной траектории в результате воздействия на него внешних возмущающих факторов. Это приводит к тому, что оператору постоянно приходится выполнять корректирующие действия рулевым колесом [2, 11, 18]. При адаптивной схеме рулевого управления передаточное отношение рассчитывается следующим образом:

$$W_i = W \left( 1 + \frac{V}{V_0} \right), \quad (2)$$

где:  $V_0$  – рекомендуемая скорость движения МТА при выполнении сельскохозяйственных операций (const), м/с.

Учитывая уравнение (2), систему (1) возможно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta x = V_i \cdot \Delta t, \\ W_i = W \left( 1 + \frac{V_i}{V_0} \right), \\ \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W_i}, \\ \alpha_{2i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L}, \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{2i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x, \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{2i} \cdot \Delta x. \end{cases} \quad (3)$$

Анализ работы колесной машины показывает на необходимость применения рулевого управления в котором передаточное отношение рулевого механизма может изменяться в зависимости от условий работы.

Из исследований следует, что необходимо определять границы оптимальных режимов работы и изыскивать технологические приемы, позволяющие резко повысить производительность труда. В связи с переходом к комплексной механизации и автоматизации производственных процессов стабильность сельскохозяйственных процессов приобретает первостепенное значение.

#### ВЫВОДЫ

1. Исследован способ движения колесной машины во время выполнения технологической операции.
2. Предложена формула расчета передаточного отношения рулевого механизма при адаптивной схеме рулевого управления.
3. Разработана математическая модель процесса движения колесной машины, у которой передаточное отношение рулевого механизма меняется в зависимости от технологической скорости.
4. Применение адаптивного рулевого управления обеспечивает устойчивость прямолинейного движения и маневренность мобильной машины.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Жалнин Э. В., Савченко А. Н. 1985.** Технологии уборки зерновых комбайновыми агрегатами. – Москва: Россельхозиздат, 207.

2. **Подригало М.А., Волков В.П., Кирчатый В.И., Бобошко А.А. 2003.** Маневренность и тормозные свойства колесных машин. / Под ред. М.А. Подригало. Харьков.: ХНАДУ, 403. (Украина).
3. **Полишкевич О. 2012.** Современное состояние парка кукурузоуборочных машин в условиях экономических и экологических ограничений. – Motrol. Vol. 14 No 2. 91-96.
4. **Аствацатуров А.Е., Базилаи М.А. 2006.** Инженерные методы безопасности систем «человек-техника-среда». – Ростов Н/Д.: ДГТУ, 130.
5. **Лазуткина О.Е. 1992.** Повышение производительности МТА на основе улучшения эргономических параметров поста управления оператора. – Харьков, 148.
6. **Хачатрян Х.А. 1974.** Стабильность работы почвообрабатывающих агрегатов. – Москва.: Машиностроение, 207.
7. **Ходес И.В. 2005.** Повышение технического уровня колесной машины на базе расчетно-теоретического обоснования параметров управляемости. – Волгоград: ВолгГТУ, 363.
8. **Бондарь А.Н., Петров А.В., Петров В.А., Лубяной М.М. № 201006247; заявл. 25.05.2010 опубл. 10.01.2011, бюл.№1. Пат. 56213, МКИ<sup>7</sup> B62D1/00.** Способ управления транспортным средством. (Украина).
9. **Бондарь А.Н., Петров В.А., Кашкарьов А.А. № 201503559; заявл. 16.04.15; опубл. 10.11.15, Бюл. №21. Пат. 102573, МКИ<sup>7</sup> B62D5/00.** Рулевое управление по положению с постоянной чувствительностью к управляющему воздействию. (Украина).
10. **Бондарь А.Н., Петров В. А., Кашкарьов А.А. №201503566; заявл. 16.04.15; опубл. 10.11.15, Бюл. №21. Пат. 102574, МКИ<sup>7</sup> B62D5/00.** Тактильное рулевое управление по положению с постоянной чувствительностью к управляющему воздействию. (Украина).
11. **Петров В.А. 1989.** Улучшение управляемости сельскохозяйственных МТА. – Москва, 178.
12. **Гельфенбейн С.П. 1981.** Терранавигация. – Москва.: Наука, 207.
13. **Бондаренко А., Грубань В. 2012.** Современные аспекты повышения надежности кукурузоуборочных машин. – Motrol. Vol. 14 No 2. 97-102.
14. **Яковлев Б.Н., Любимов М.Е., Клочков В.Н., Склярова Т.В. 1999.** Эргономика. – Саратов.: Сарат.гос.тех.ун-т, 92.
15. **Новикова Т.А. 1994.** Гигиеническая и эргономическая оценка условий труда на мобильной сельскохозяйственной технике.- Саратов, 203.
16. **Лурье А.Б. 1970.** Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Ленинград.: Колос, 376.
17. **Лисютин В.П. 1988.** Дифференциальная обработка междурядий. Тр. МИИСП. ТМ№3. Кукуруза и сорго. 23-29.

18. **Бондарь А.Н. 2013.** Повышение управляемости колесных тракторов путем использования адаптивного рулевого управления. – Харьков, 151.
19. **Широков А.П. 2006.** Основы эргономики.- Харьковск.: ДВГУПС, 117.
20. **Петров А.В. 2009.** Внедрение управления «по положению» в конструкциях рулевых управлений мобильных машин. Вестник Днепропетровского Государственного Аграрного Университета. Т2. 271-273. (Украина).

THE METHOD FOR WHEELED MACHINE  
SYSTEM CONTROL TO PROVIDE ITS EFFECTIVE  
OPERATION

**Summary.** The article deals with studying the control methods by mobile machines operation direction. The most perspective solutions enabling to get adaptive steering gear ratio depending on the mobile machine conditions movement have been considered in the article. It was defined that the major wheeled machine operation indicator is its maneuverability. Indicators components have been analyzed as well as its components such as controllability, turnability, cornering agility have been defined. Herewith, each

indicator has sublevels that also effect the whole wheeled machine maneuverability. It has been defined that maximum rotation angle of steering wheels don't exceed  $40 \dots 55^\circ$ , and the steering wheel angle in each side makes up 1,5 ...3,0 rotations. As the result of analysis of the wheeled machine moving along the "baseline" the kinematic scheme that gives pictorial presentation on machine frame, steering and steered wheels location has been worked out. This analysis enabled to work out discrete mathematical model for traditional steering control of the wheeled machine moving along the "baseline". While, such steering doesn't correspond the requirements as for the quality of trajectory tracing under various speed modes. Thus discrete mathematical model for mobile machine adaptive steering has been worked out; it enables to change steering ratio depending on the movement speed. The analyses of the given mathematical model displays that wheeled machine operation efficiency increases. Reaching such the efficiency is possible due to the increase of wheeled machine technological speed, herewith fixing all agrotechnical requirements on the operations being realized.

**Key words:** control system, maneuverability, speed movement, ratio, steering mechanism, mathematical model, baseline.