

На правах рукописи



**Дудников Сергей Анатольевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТА ТРАКТОРА КЛАССА 1,4  
НА ПОЛУГУСЕНИЧНОМ ХОДУ В УСЛОВИЯХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**Автореферат**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Благовещенск – 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Научный руководитель                      доктор технических наук, профессор  
Щитов Сергей Васильевич

Официальные оппоненты:                      доктор технических наук, профессор  
Емельянов Александр Михайлович

кандидат технических наук  
Орехов Геннадий Иванович

Ведущее предприятие                      ЗАО ПО «Дальсельмаш»

Защита состоится 1 марта 2012 года в 11<sup>30</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.027.01 при ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет» 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, корпус 12, ауд. 82, тел/факс 8(4162)49-10-44

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет».

Автореферат размещён на сайтах ДальГАУ и ВАК

Автореферат разослан 23 января 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Якименко А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В Амурской области ранневесенние полевые работы имеют свою специфику по сравнению со всеми регионами нашей страны, из-за особых естественно - производственных условий. После зимнего периода весенние полевые работы начинаются в первую декаду апреля, когда почва оттаивает только на глубину 0,04...0,06 м при влажности верхнего слоя 35...45 %, что не позволяет широко применять тракторы класса 1,4 из-за слабой несущей способности почвы. Известно, что тракторы на пневматическом ходу сильно уплотняют почву, оставляя на пашне глубокую колею. На уплотненной колесами почве позднее появляются всходы и слабее развиваются растения. Кроме того, начинают использовать колесные тракторы несколько позднее гусеничных. Об этом свидетельствует анализ многочисленных исследований. С целью повышения эффективности использования колёсных тракторов в этих условиях необходимо повышать их тягово-сцепные свойства с одновременным снижением нормального давления на почву. Вопросом повышения тягово-сцепных свойств и снижения нормального давления на почву колесных тракторов посвящены ряд работ. Анализ показал, что одним из перспективных способов улучшения эффективности использования колёсных тракторов класса 1,4 на основных сельскохозяйственных работах является повышение их тягово-сцепных свойств за счет применения полугусеничного хода.

На эффективность использования колёсных тракторов большое влияние оказывают кинематические показатели поворота, которые широко рассмотрены в работах многих авторов. В то же время остаётся не исследованным вопрос влияния на кинематику поворота данных тракторов постановки полугусеничного хода в условиях переувлажненного верхнего слоя почвы при наличии твердого подстилающего слоя в виде мерзлоты.

**Цель работы.** Повышение эффективности использования колесных тракторов класса 1,4 на основных сельскохозяйственных работах за счет улучшения тягово-сцепных свойств, снижения техногенного воздействия движителей на почву и улучшения кинематических показателей на повороте.

**Объект исследования.** Процесс взаимодействия ходовой части трактора на полугусеничном ходу с почвой на повороте.

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач - описания процесса взаимодействия ходовой части трактора на полугусеничном ходу с почвой использованы методы теоретической механики. В исследованиях использован математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления.

Экспериментальные исследования проведены в полевых условиях. Опытные данные обработаны современными методами с использованием теории вероятности и математической статистики.

**Научная новизна.** Получены дифференциальные уравнения движения трактора на полугусеничном ходу при повороте. Определено влияние полугусеничного хода на радиус поворота, показатель поворотливости и центр смещения поворота. В условиях Амурской области экспериментально определено влияние полугусеничного хода на основные кинематические показатели поворота трактора.

**Практическая значимость работы.** Использование колесного трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу снижает техногенное воздействие на почву за счет уменьшения величины буксования и глубины колеи, повышает тягово-цепные свойства и улучшает кинематические показатели поворота.

Полученные экспериментальные зависимости позволяют сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, совершенствовании и доработке тракторов класса 1,4 на полугусеничном ходу.

Методика экспериментальных исследований нашла применение на ФГУ «Амурская государственная зональная машиноиспытательная станция» при испытаниях колесных сельскохозяйственных тракторов. Полученные результаты по уточнению теории взаимодействия полугусеничного движителя трактора класса 1,4 с почвой при повороте внедрены и используются в учебном процессе на кафедре «Тракторы и автомобили» ФГБОУ ВПО ДальГАУ

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на научных конференциях в ФГОУ ВПО ДальГАУ (Благовещенск, 2008-2010 гг., Биробиджан 2010 г.) и ФГБОУ ВПО ДальГАУ (Благовещенск, 2011 г.), ГНУ ДальНИИМЭСХ (Благовещенск, 2009 г.), на региональных конференциях "Молодежь XXI века: шаг в будущее" (ДальГАУ 2008г., АГМА 2009 г., АМГУ 2010 г.).

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 11 работах, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 128 страницах, содержит 5 таблиц, 63 рисунка. Список литературы содержит 174 наименований, из них 24 на иностранном языке.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение.** Обоснована актуальность диссертационной работы, сформирована цель исследований, представлены основные положения выносимые на защиту.

**В первой главе** «Состояние вопроса и анализ исследования» приведена почвенно-климатическая характеристика Амурской области, рассмотрено состояние АПК Амурской области. Дан анализ видов поворотов и их характеристика.

Вопросам исследования поворота гусеничных машин посвящены работы ученых: А.С. Антонова, В.А. Балдина, И.Б. Барского, Л.Г. Бархударова, С.С.Бурова, В.Ф. Васильченкова, Н.И. Груздева, В.И. Заславского, П.И. Иванова, Д.К. Карельских, А.Г. Козлова, М.К. Кристи, И.П. Ксеновича, Е.Д. Львова, М.И. Медведева, А.О. Никитина, А.Ф. Опейко, В.В. Павлова, В.А. Петрова, В. Ф. Платонова, Л.В. Сергеева, К.А. Талу, Я.Е. Фаробина, В.М. Шарипова и других. Наибольшее распространение получила теория поворота гусеничных машин, согласно которой все силы сопротивления повороту сводятся к поперечным силам трения и учитываются коэффициентом сопротивления повороту.

В области исследования криволинейного движения колёсных машин основателем можно по праву считать Н.Е. Жуковского, который положил начало теории движения автомобиля на повороте. Продолжение данной теории нашло отражение в работах Д.А. Антонова, Ю.Е. Атаманова, Г.С. Гаспарянца, Б.В.Гольда, В.В. Гуськова, Г.В. Зимелева, В.А. Илларионова, А.С. Литвинова, Ф.А. Опейко, Б.С. Фалькевича, Е.А. Чудакова и других.

Разные методологические подходы в описании взаимодействия колесного и гусеничного движителя с грунтом затрудняют возможность их распростране-

ния на машинно-тракторные агрегаты с комбинированным движителем. Кроме этого, недостаточно полно раскрыт вопрос исследования кинематики колёсных тракторов на полугусеничном ходу на почвах с низкой несущей способностью и наличием твёрдого подстилающего слоя в виде мерзлоты.

На основании анализа современного состояния рассматриваемой проблемы поставлены следующие задачи исследования:

1. Исследовать движение колёсного трактора на полугусеничном ходу на повороте.
2. Определить влияние полугусеничного хода на радиус поворота и показатель поворотливости.
3. Провести сравнительные хозяйственные и тяговые испытания.
4. Определить техногенное воздействие движителей трактора на почву.
5. Дать экономическую и топливно-энергетическую оценку использования трактора на полугусеничном ходу.

**Во второй главе** «Теоретические предпосылки исследований» получены дифференциальные уравнения движения трактора на полугусеничном ходу на плоскости. Схема к выводу дифференциальных уравнений приведена на рисунке 1.

Для вывода уравнений движения используем дифференциальные уравнения Лагранжа второго рода в частных производных

$$\sum_{k=1}^s \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} \right)' - \frac{\partial T}{\partial q_k} \right] dq_k = \delta A + \lambda_1 \Phi_1 + \lambda_2 \Phi_2, \quad (1)$$

где  $T$  - кинетическая энергия машины;  $q_k$  - обобщенные координаты ( $q_1 = x_c$ ;  $q_2 = y_c$ ;  $q_3 = \varphi$ ;  $q_4 = \vartheta_1$ ;  $q_5 = \vartheta_2$ );  $\delta A$  - полная элементарная работа.

Кинетическая энергия трактора определяется тремя составляющими

$$T = \frac{m}{2} (x_c^2 + y_c^2) + \frac{1}{2} \varphi^2 + \frac{A_1}{2} (\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2). \quad (2)$$

Частные производные от кинетической энергии

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} = \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_c} = m\dot{x}_c; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_2} = \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_c} = m\dot{y}_c, \quad (3)$$

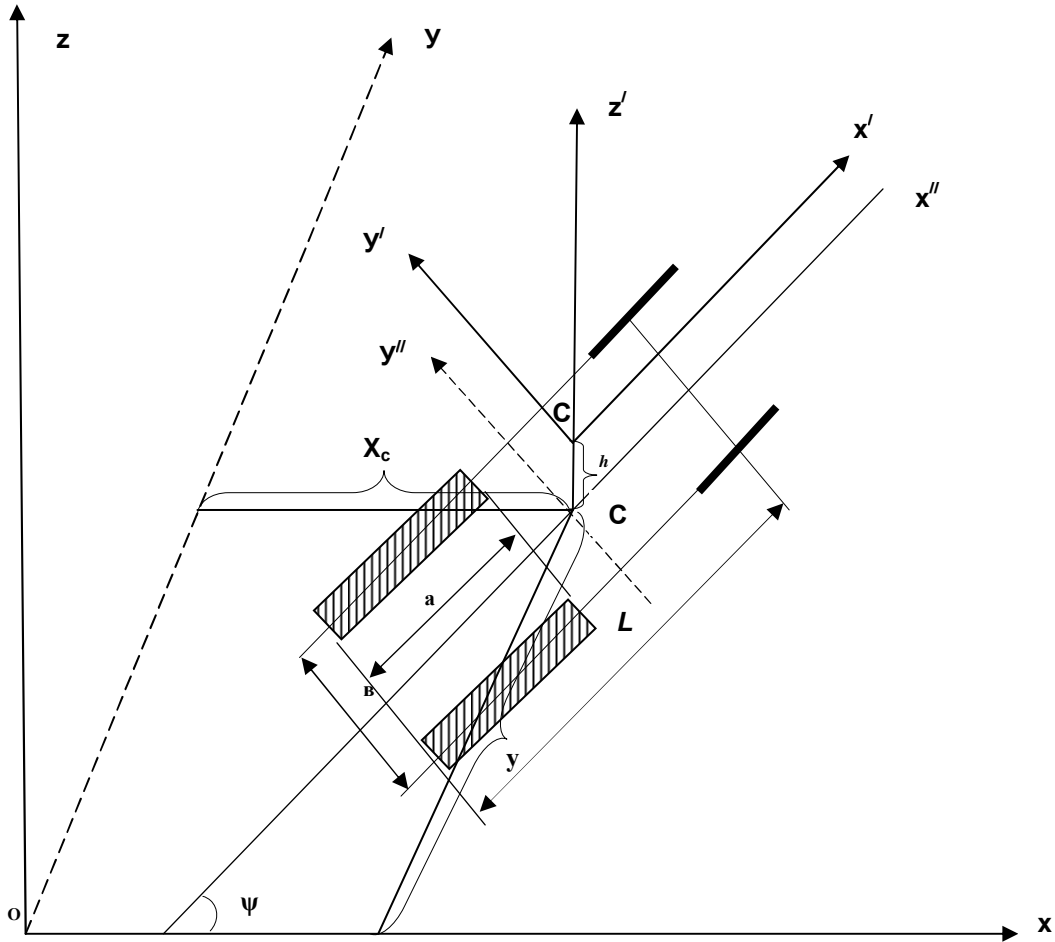


Рис.1. Схема к определению дифференциального уравнения движения:  
 $x_c, y_c$  – координаты центра тяжести машины;  $\varphi$  - угол между продольной осью симметрии машины и положительным направлением оси  $C'X''$ ;  $\vartheta_1, \vartheta_2$ - углы поворота корпуса машины, соответственно внутреннего и наружного ведущих колес гусеничного движителя

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_3} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = I\dot{\varphi}; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_4} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\vartheta}_1} = A_1\dot{\vartheta}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_5} = \frac{\partial T}{\partial \dot{\vartheta}_2} = A_1\dot{\vartheta}_2, \quad (4)$$

$$\frac{d(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}_c})}{dt} = m\ddot{x}_c, \quad \frac{d(\frac{\partial T}{\partial \dot{y}_c})}{dt} = m\ddot{y}_c, \quad \frac{d(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}})}{dt} = I\ddot{\varphi}, \quad (5)$$

$$\frac{d(\frac{\partial T}{\partial \dot{\vartheta}_1})}{dt} = A_1\ddot{\vartheta}_1, \quad \frac{d(\frac{\partial T}{\partial \dot{\vartheta}_2})}{dt} = A_1\ddot{\vartheta}_2. \quad (6)$$

Полная элементарная работа внутренних и внешних сил

$$\delta A = M_1 \delta \vartheta_1 + M_2 \delta \vartheta_2 + Y v_{cy1} \delta t + X v_{cy1} \delta t + M \delta \varphi. \quad (7)$$

Опуская промежуточные преобразования, получим систему дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned} m \left[ \frac{dv}{dr} + \chi \left( \frac{v}{R} \right) \right] + \frac{2A_1}{R_k^2} \cdot \frac{dv}{dr} &= \frac{M_1 + M_2}{R_k} + X \\ m \left[ \frac{v^2}{R} - \chi \frac{d \left( \frac{v}{R} \right)}{dt} \right] &= -Y \\ \left( J + \frac{A_1 B^2}{2R_k^2} \right) \cdot \frac{d \left( \frac{v}{R} \right)}{dt} &= \frac{M_2 - M_1}{R_k} \cdot \frac{B}{2} + M \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для решения системы дифференциальных уравнений необходимо определить равнодействующие продольных и поперечных реакций почвы, действующих на полугусеничный движитель, и суммарный момент всех внешних сил, приложенных к машине относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, радиус поворота, центр смещения и боковой увод.

Определение радиуса поворота трактора как основного эксплуатационного показателя криволинейного движения машинно-тракторного агрегата (МТА) требует ряда дополнительных систематических уточнений. Классические положения о кинематическом движении поворота колёсного трактора основаны на ряде допущений. Основные допущения направлены на уточнение понятия правильности поворота, при котором колёса перекачиваются без скольжения и боковой увод колёс трактора отсутствует. Однако в реальных эксплуатационных условиях криволинейного движения трактора, при которых боковой увод колёс всегда присутствует, такие понятия правильности поворота можно считать не совсем корректными. Кроме того, требуется уточнить влияние конструктивных изменений, вносимых в ходовую систему трактора, на основные показатели поворота. Исходя из геометрических параметров ходовой части машины, соотношений углов бокового увода передней и задней оси и угла поворота управляемых колёс возможны три основных случая положения центра поворота (рис.2).

При нахождении центра поворота в т. О, радиус поворота трактора равен

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (9)$$

где  $L$  - база трактора;  $\alpha$  - средний угол поворота управляемых колёс.



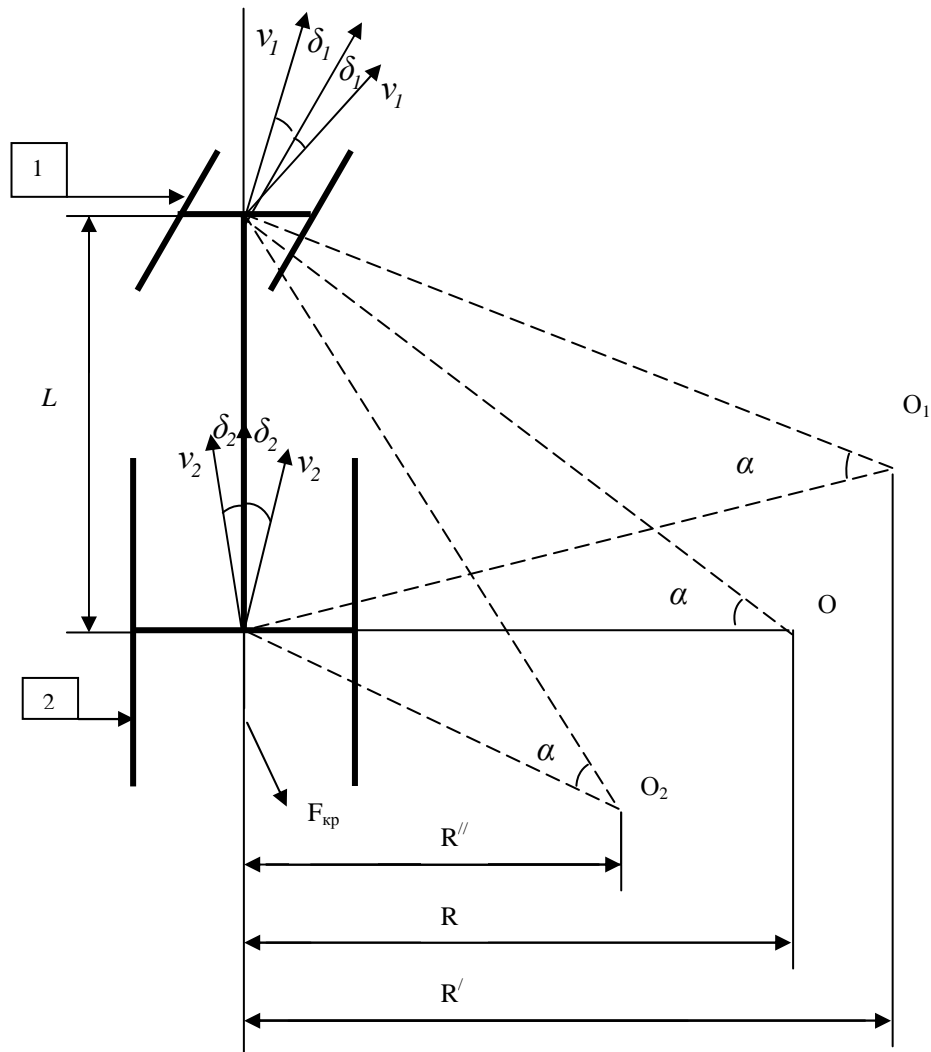


Рис. 2. Схема поворота трактора на полугусеничном ходу:

$L$  - база трактора;  $R$  - радиус поворота трактора;  $O$ ,  $O_1$ ,  $O_2$  - центр поворота трактора;  $\alpha$  - средний угол поворота управляемых колёс;  $\delta_2$  - средний угол бокового увода задней оси трактора;  $\delta_1$  - средний угол бокового увода передней оси трактора; 1 - управляемые колёса; 2 - полугусеничный ход

При нахождении центра поворота трактора в точке  $O_1$  радиус поворота определяется следующим образом

$$R' = \left[ \frac{L \cdot \sin((90-\alpha)+\delta_1)}{\sin(\alpha+\delta_2-\delta_1)} \right] \cdot \cos \delta_2, \quad (10)$$

где  $\delta_2$  - средний угол бокового увода задней оси трактора;  $\delta_1$  - средний угол бокового увода передней оси трактора.

При нахождении центра поворота в точке  $O_2$  радиус поворота равен

$$R'' = \left[ \frac{L \cdot \sin(90 - (\alpha + \delta_1))}{\sin(\alpha + \delta_1 - \delta_2)} \right] \cdot \cos \delta_2 . \quad (11)$$

Анализируя полученные выражения (9-11), можно отметить следующее: при криволинейном движении трактора основными параметрами, определяющими поворот машины, являются база трактора, средний угол поворота управляемых колёс и углы бокового увода передней и задней оси. Причём необходимо отметить, что углы бокового увода передней и задней оси трактора, их значение и изменение будут оказывать существенное влияние на кинематику поворота машины. Именно наличие бокового увода есть основная первопричина значительных отклонений от заданной траектории движения машинно-тракторного агрегата на повороте. Причём, их влияние будет оказано в большей степени в условиях движения машинно-тракторного агрегата по нестабильным грунтам: в ранневесенний период, в период переувлажнения почвы и т.д. Кроме того, боковой увод и есть тот самый параметр, который отражает воздействие на машину внешних силовых факторов, сопровождающих криволинейное движение.

В общем случае угол бокового увода можно определить по формуле

$$\delta = \frac{P_{\delta}}{K}, \quad (12)$$

где  $P_{\delta}$  – боковая сила, действующая на колею;  $K$  – коэффициент сопротивления уводу.

Как известно, на величину бокового увода при повороте трактора будет оказывать влияние боковое скольжение и боковая деформация элементов движителя. Рассмотрим их влияние на величину бокового увода.

Одна из задач при исследовании кинематики поворота заключается в определении геометрических и кинематических параметров поворота трактора, с учетом бокового увода элементов движителя.

При этом следует сделать уточнение, что при криволинейном движении МТА угол бокового увода  $\delta$  каждой оси есть суммарное выражение отклонений на различные величины. В этом случае угол бокового увода каждой оси можно представить в виде

$$\sum \delta_i = \delta_{i_{\text{деф}}} + \delta_{i_{\text{скольж}}} , \quad (13)$$

где  $\delta_{i_{\text{деф}}}$  – угол бокового увода, связанный с деформацией элементов движителя;  $\delta_{i_{\text{скольж}}}$  – угол бокового увода, связанный с боковым скольжением элементов движителя.

С учётом теоремы Кастилиано угол бокового увода определим

$$\delta_{\text{деф}} = 2 \frac{dU_i}{dM} , \quad (14)$$

где  $U_i$  - потенциальная энергия деформации элемента движителя;  $M$  - момент деформации элемента движителя.

Теоретические исследования показали, что наиболее существенное влияние на угол бокового увода и, соответственно, кинематику движения трактора на повороте, будет оказывать не боковая деформация элементов движителя, а именно боковое скольжение. Для обеспечения движения трактора без скольжения должно выполняться условие:  $P_6 \leq P_n$ , ( $P_n$  - сила бокового сопротивления почвы). В нашем случае на движитель действует сила сопротивления почвы сдвигу и сила трения о почву.

Определив площадь сдвига и длину опорной поверхности, угол бокового увода можно определить по выражениям:

- для колёсного трактора

$$\delta = \frac{\frac{\pi^2}{2} - r^2 \sin \frac{r-h}{r} - (r-h) \sqrt{h(2r-h)} (c + qtg\rho) th \frac{S}{K_\tau} + (\pi - 2 \arcsin \frac{r-h}{r}) B q_{mp} \mu_{рез}}{K} , \quad (15)$$

где  $q_{mp}$  - удельное давление трактора на почву;  $\mu_{рез}$  - коэффициент трения резины о почву;  $B$  - ширина движителя;

- для трактора с полугусеничным движителем

$$\delta = \frac{l_2 h_k (c + qtg\rho) th \frac{S}{K_\tau} + l_2 B_2 q_{mp} \mu_m}{K} , \quad (16)$$

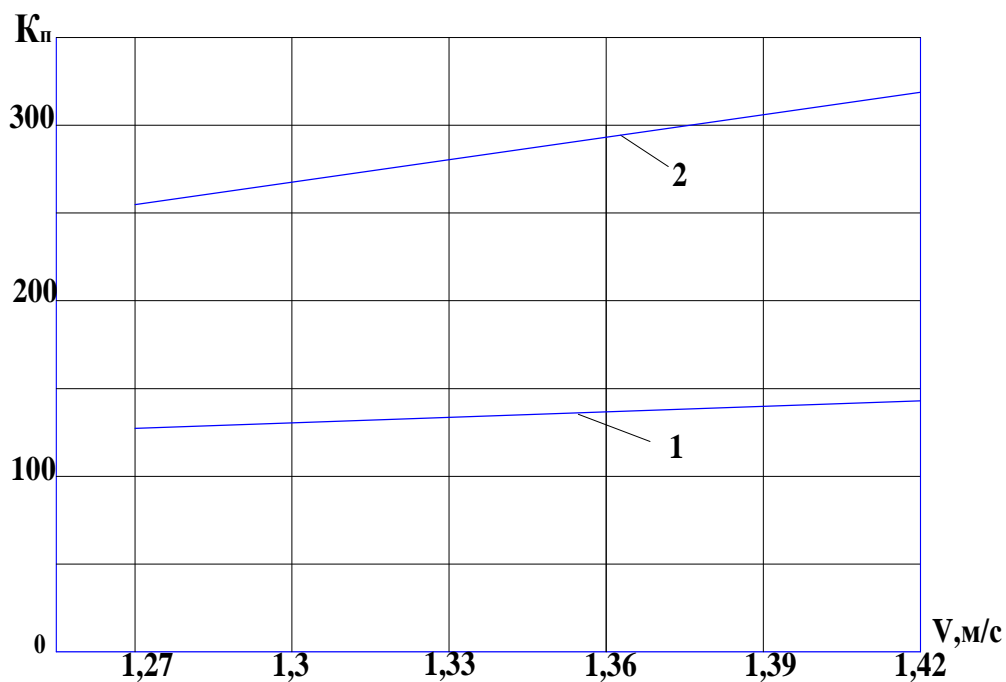
где  $l_2$  – длина движителя,  $m$ ;  $\mu_m$  - коэффициент трения металла о почву.

Одним из показателей, характеризующих кинематику поворота, является показатель поворотливости, который определяется по формуле

$$K_n = R \cdot Vn \cdot t = R \cdot l , \quad (17)$$

где  $V_n$  – средняя скорость на повороте;  $t$  – время поворота;  $l$  – длина дуги.

Из формулы (17) видно, что показатель поворотливости зависит от скорости движения и радиуса поворота. С учётом ранее полученных формул (9-11) на рисунке 3 показано влияние скорости движения на показатель поворотливости. При определении радиуса поворота трактора с полугусеничным движителем величиной бокового увода задней оси трактора можно пренебречь. Тогда проанализировав ранее приведённые формулы, можно отметить, что радиус поворота, а следовательно, и показатель поворотливости у трактора с полугусеничным движителем будет меньше, что наглядно видно из графика (рис.3).



1 - полугусеничный движитель 2 - серийный движитель

Рис.3. Зависимость показателя поворотливости от скорости движения

Для определения величины смещения центра поворота рассмотрим поворот МТА с управляемыми передними колесами в системе координат  $X$  и  $Y$ , заменив два симметрично расположенных относительно продольной оси  $X$  колеса одним, расположив его непосредственно на оси  $X$  (рис.4).

При повороте МТА свяжем его раму с осями координат  $X$  и  $Y$ . При этом ось  $X$  проходит через центр колес параллельно продольной оси МТА. Ось  $Y$  расположена на расстоянии  $l_i$  от центра рассматриваемых колес. При этом угол поворота  $i$ -го колеса обозначается через  $\alpha_i$ .

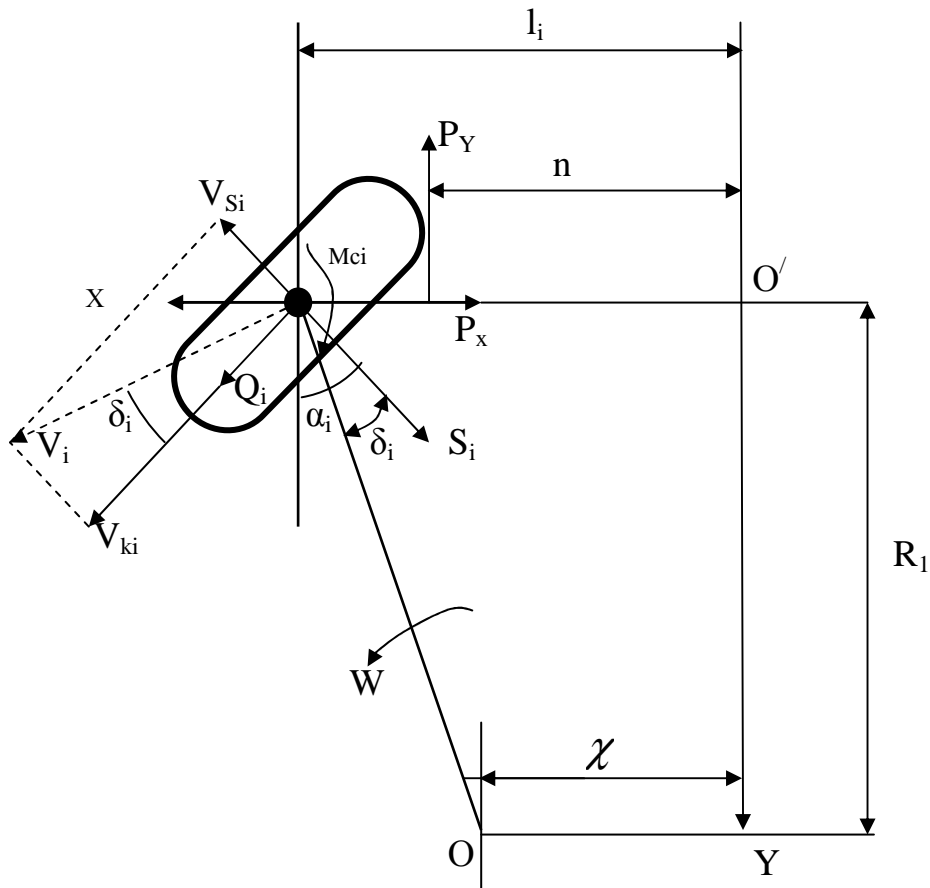


Рис.4. Схема поворота трактора:

$\chi$  - смещение центра поворота колеса;  $V_i$  - суммарный вектор скорости перемещения колеса;  $R_1$  - радиус поворота колеса;  $\alpha_i$  - угол поворота  $i$ -го колеса;  $O$  - центра поворота;  $\delta_i$  - угол направления суммарного вектора скорости;  $Q_i$  и  $S_i$  - продольная и поперечная реакции дороги;  $P_x$  и  $P_y$  - составляющие силы;  $n$  - расстояние от оси координат  $O'$  до составляющих  $P_x$  и  $P_y$ .

При повороте трактора рама поворачивается вокруг некоторого, неподвижного относительно дороги, центра поворота  $O$ . Положение данного центра определяется координатами  $R$  (радиус поворота колеса) и  $\chi$  (смещение центра поворота колеса). При качении колеса суммарный вектор скорости перемещения колеса  $V_i$  направлен к оси колеса под углом  $\delta_i$  и перпендикулярен к линии, соединяющей центр колеса и центр поворота  $O$ .

В момент поворота трактора кроме продольной реакции дороги  $Q_i$  и поперечной реакции дороги  $S_i$  к раме приложены внешние силы: составляющие силы тяги на подъеме и составляющие центробежной силы, которыми можно пренебречь.

Вышеперечисленные силы можно свести к двум составляющим  $P_x$  и  $P_y$ . Составляющая  $P_x$  расположена на оси  $X$ , а составляющая  $P_y$  перпендикулярна к оси  $X$  и расположена на расстоянии  $n$  от осей координат  $O'$ .

Основные зависимости, характеризующие поворот рамы трактора, могут быть представлены следующими уравнениями:

- уравнение моментов сил относительно точки  $O'$

$$\sum_{i=1}^n Q_i \sin \alpha_i l_i + \sum_{i=1}^n S_i \cos \alpha_i l_i = P_y n + M_e, \quad (18)$$

- уравнение проекций сил на ось  $X$

$$\sum_{i=1}^m Q_i \cos \alpha_i - \sum_{i=1}^m S_i \sin \alpha_i = P_x, \quad (19)$$

- уравнение проекций сил на ось  $Y$

$$\sum_{i=1}^m Q_i \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^m S_i \cos \alpha_i = P_y. \quad (20)$$

В данной системе количество уравнений меньше числа неизвестных. В случае, если число осей трактора равно двум, то число неизвестных будет равно шести, а число уравнений - трём. Таким образом, задача статически неопределимая. Решить поставленную задачу можно, составив дополнительные уравнения упругости, при этом приняв за заданную величину реактивный момент, или использовать метод последовательного приближения. Для более точного решения вышеприведенных уравнений, используя теорию силового потока, получили формулу для определения смещение центра поворота

$$\chi = \ell_1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 - k(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1) S_1}{R_1}. \quad (21)$$

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» изложены программа и методика экспериментальных исследований, описание экспериментального трактора на полугусеничном ходу и комплекса измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Экспериментальные исследования проведены в полевых условиях, характерных для условий эксплуатации. Типичными для Амурской области являются луговые черноземовидные почвы, тяжелые по механическому составу (тяжелый суглинок). Они характерны для сельскохозяйственных предприятий Амур-

ской области на базе которых проводились экспериментальные исследования. Для проведения испытаний выбирались горизонтальные участки с углом наклона не более двух градусов и ровным микрорельефом, при этом учитывалось состояние почвы: влажность, объёмная масса, механический состав, до и после прохода агрегата.

Экспериментальные исследования проводились с трактором класса 1,4 с использованием серийного и экспериментального на полугусеничном ходу, при этом замерялись следующие параметры: тяговое усилие, частота вращения двигателя, пройденный путь (для определения рабочей скорости), время опыта, радиус поворота, расход топлива. Для замера вышеперечисленных параметров на тракторе была смонтирована измерительная аппаратура. Для обработки экспериментальных данных использовались методы дисперсионного и регрессионного анализа испытания.

**В четвёртой главе** «Результаты экспериментальных исследований» представлены основные результаты полевых испытаний, производственной проверки, анализ результатов исследований.

В условиях Амурской области основные ранневесенние работы начинаются, когда оттаивает верхний слой почвы. В это время колёсные тракторы не используются, так как из-за большого нормального давления на почву они, проваливаясь до мерзлоты, теряют свою проходимость, оставляя за собой глубокую колею из-за сильного буксования. Постановка полугусеничного хода позволяет устранить этот недостаток (рис.5).

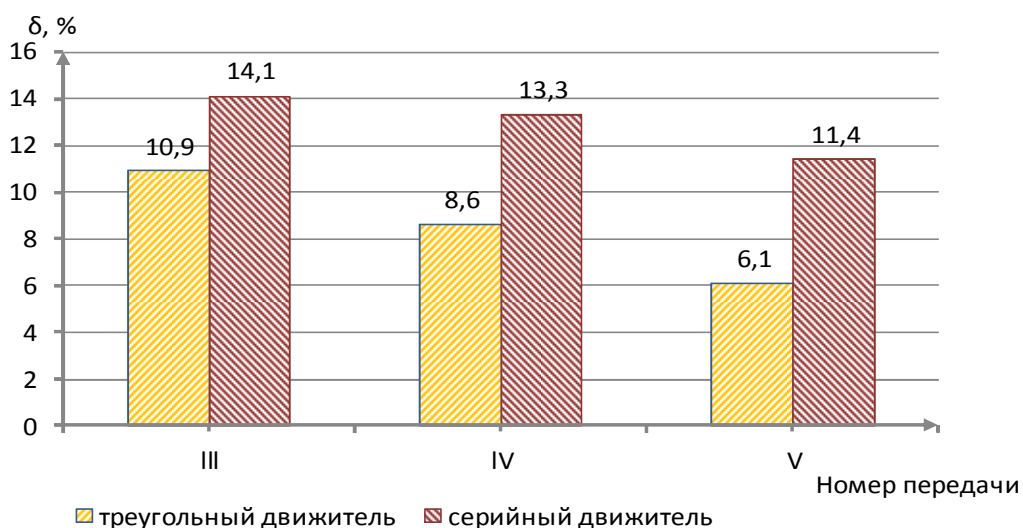


Рис.5 Зависимость величины буксования от скорости движения (залежь)

Как видно рисунка 5, с повышением скорости движения величина буксования на залежи уменьшается как у серийного трактора, так у трактора с треугольным движителем. Так, на 3-й передаче величина буксования у трактора с треугольным движителем составляет 10,9%, в то время как у серийного - 14,1%, что на 23 % меньше. При использовании трактора на 5-й передаче величина буксования соответственно составляет 6,1% и 11,4 %, т.е. на 46 % меньше. Кроме этого интенсивность снижения величины буксования у трактора с треугольной гусеницей составила в 1,79 раза, у трактора серийного в 1,23 раза, что на 31% меньше. Аналогичные исследования были проведены и на зяби. Анализируя полученные данные на зяби, можно отметить, что на 3-й передаче величина буксования у серийного трактора составляет 15,8%, а трактора с треугольным движителем - 12,2%, т.е. постановка треугольного движителя позволила снизить величину буксования на 23 %. При увеличении скорости движения (5-я передача) величина буксования у серийного трактора составила 12,7%, а трактора с треугольным движителем - 7,9 %, т.е. постановка треугольного движителя позволяет снижать величину буксования на 45% по сравнению с серийным. Анализируя интенсивность снижения величины буксования у серийного трактора и у трактора с полугусеничным движителем, можно отметить, что у серийного трактора интенсивность снижения 1,24 раза, а у трактора с треугольным движителем 1,6 раза, что на 22,5% больше.

Аналогичные исследования были проведены для МТА, состоящего из трактора класса 1,4 и БДТ-3, которая использовалась в качестве загрузочного устройства. Анализируя результаты зависимости величины буксования от скорости движения, можно отметить, что с повышением скорости движения величина буксования уменьшается как у трактора с серийным движителем, так у трактора с треугольным движителем. Так, на 6-й передаче величина буксования у трактора с треугольным движителем составляет 4,5%, в то время как у серийного - 11,5%, что на 60 % меньше. При использовании трактора на 2-й передаче величина буксования соответственно составляет 18,2% и 10,3%, т.е. на 24 % меньше. Кроме этого, интенсивность снижения величины буксования у трактора с треугольной гусеницей составила 2,28 раза, у трактора серийного - 1,58 раза, что на 31% меньше, по сравнению с серийным.



Наряду с этим, представляет определенный интерес, как влияет постановка движителей треугольной формы на тяговые сцепные свойства в зависимости от скорости движения. Проведенные исследования показали, что, с изменением скорости движения, тяговое усилие трактора с треугольным движителем изменяется от 12,1 до 15,7 кН, в то время как для трактора в колесном варианте соответственно составляет от 10,8 до 13,0 кН. Таким образом, постановка треугольного движителя позволила повысить тяговое усилие больше чем на 10% .

Аналогичные исследования были проведены для МТА, состоящего из трактора класса 1,4 и БДТ-3, которая использовалась в качестве загрузочного устройства. Так, с изменением скорости движения тяговое усилие возросло у трактора с полугусеничным ходом с 12,4 кН до 16,6 кН, а у трактора в серийном варианте соответственно с 11,0 кН до 14,9 кН. Постановка треугольного гусеничного хода в зависимости от скорости движения позволила повысить тяговые усилия более чем на 24%, по сравнению с серийным.

При выполнении различных сельскохозяйственных работ всегда наблюдается изменение траектории движения МТА, что в конечном итоге влияет на производительность. Одним из основных критериев, характеризующих поворот трактора, являются радиус поворота и показатель поворотливости. С целью подтверждения полученных теоретических зависимостей были проведены экспериментальные исследования по определению радиуса поворота и показателя поворотливости трактора (рис.6).

Как показали исследования, с увеличением скорости движения радиус поворота увеличивается как у трактора на колёсном ходу, так и у трактора на полугусеничном ходу. Если у трактора в серийном варианте радиус поворота, при скорости движения 0,79 м/с составил 6,6 м, то при увеличении скорости движения до 1,45 м/с радиус поворота возрос до 7,6 м.

Для трактора с треугольным движителем радиус поворота для скорости 0,79 м/с составил 4,9 м, а для скорости 1,45 м/с соответственно - 5,4 м. Таким образом, постановка полугусеничного хода позволила снизить радиус поворота при скорости 0,79 м/с на 26 %, а при скорости 1,45 м/с на 29%. Постановка полугусеничного хода снижает интенсивность возрастания радиуса поворота с увеличением скорости движения.

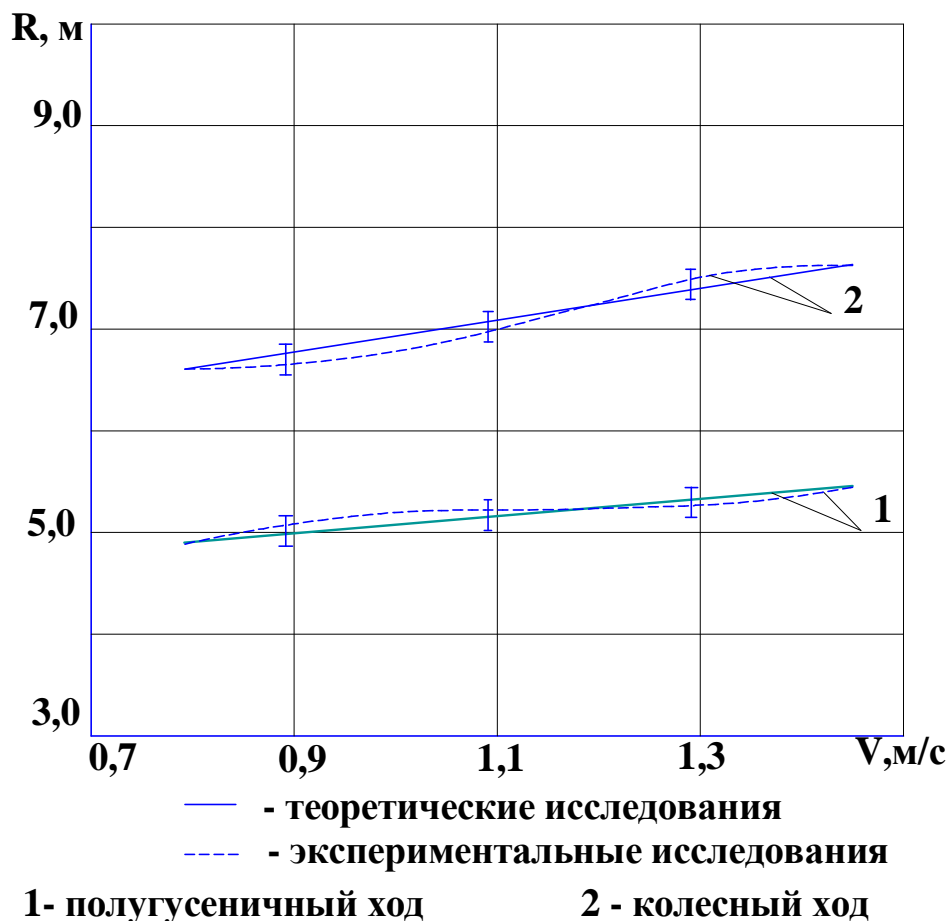


Рис. 6 Зависимость радиуса поворота от скорости движения (зябрь)

Так, при увеличении скорости движения с 0,79 до 1,45 м/с интенсивность возрастания радиуса поворота у трактора с полугусеничным ходом (на зяби) составила 1,1 раза, а у серийного трактора 1,15 раза. Аналогичные исследования были проведены и на залежи. С увеличением скорости движения радиус поворота увеличивается как у трактора на колёсном ходу, так и у трактора на полугусеничном ходу. У трактора в серийном варианте радиус поворота при скорости движения 0,79 м/с составил 6,40 м, а при увеличении скорости движения до 1,45 м/с радиус поворота вырос до 7,20 м.

Для трактора с треугольным движителем радиус поворота для скорости 0,79 м/с составил 4,75 м, а для скорости 1,45 м/с соответственно - 5,10 м. Таким образом, постановка полугусеничного хода позволила снизить радиус поворота при скорости 0,79 м/с на 25 %, а при скорости 1,45 м/с на 29%, по сравнению с серийным трактором. В то же время постановка полугусеничного хода позволила снизить и интенсивность возрастания радиуса поворота с увеличением

скорости движения. С увеличением скорости движения с 0,79 до 1,45 м/с у трактора с полугусеничным ходом интенсивность увеличения радиуса составила 1,07 раза, а у серийного трактора - 1,12 раза.

Кроме этого, были проведены экспериментальные исследования по определению радиуса поворота для МТА, состоящего из трактора класса 1,4 и БДТ-3, которая использовалась в качестве загрузочного устройства. Исследования проходили на двух фонах: залежь и зябь.

Как показали исследования, с увеличением скорости движения на залежи радиус поворота увеличивается как у трактора класса 1,4 на колёсном ходу, так и у трактора на полугусеничном ходу. Если у трактора в серийном варианте радиус поворота при скорости движения 1,52 м/с составил 6,7 м, то при увеличении скорости движения до 3,01 м/с радиус поворота вырос до 7,3 м. Для трактора с треугольным движителем радиус поворота для скорости движения 1,52 м/с составил 6,23 м, а для скорости 3,01 м/с соответственно - 6,78 м. Таким образом, постановка полугусеничного хода позволила снизить радиус поворота трактора. Как показали исследования, с увеличением скорости движения на зяби радиус поворота увеличивается как у трактора класса 1,4 с БДТ-3 на колёсном ходу, так и у трактора на полугусеничном ходу. У трактора в серийном варианте радиус поворота при скорости движения 1,52 м/с составил 6,82 м, а при увеличении скорости движения до 3,01 м/с радиус поворота возрос до 7,57 м.

Для трактора с треугольным движителем радиус поворота для скорости движения 1,52 м/с составил 6,55 м, а для скорости 3,01 м/с соответственно - 6,95 м. Таким образом, постановка полугусеничного хода позволила снизить радиус поворота трактора класса 1,4 с загрузочным устройством БДТ-3 на зяби до 8%. В то же время постановка полугусеничного хода позволила снизить и интенсивность возрастания радиуса поворота с увеличением скорости. Так, с увеличением скорости движения с 1,52 до 3,01 м/с интенсивность возрастания радиуса поворота у трактора с полугусеничным ходом составила 1,06 раза, а у серийного трактора - 1,12 раза.

Также была рассмотрена зависимость показателя поворотливости МТА, состоящего из трактора класса 1,4 и БДТ-3, которая использовалась в качестве загрузочного устройства, от изменения передачи в КПП. Как показали прове-

дённые исследования на залежи, постановка полугусеничного хода снижает показатель поворотливости, так на 3-й передаче снижение по сравнению с серийным трактором составило 6,5 %, на 4-й передаче - 11%, на 5-й передаче - на 13% по сравнению с серийным. На зяби, с увеличением скорости движения с 3-й по 5-ю передачи показатель поворотливости увеличивается у трактора с серийным двигателем в 1,14 раза, а у трактора с полугусеничным двигателем в 1,06 раза, т.е. на 7 % меньше. На зяби постановка полугусеничного хода снижает показатель поворотливости, так, на 3-й передаче на 11%, на 4-й передаче 13,5%, на 5-й передаче - на 14% по сравнению с серийным трактором.

Таким образом, с увеличением скорости движения на зяби с 3-й по 5-ю передачи показатель поворотливости увеличивается у трактора с серийным двигателем в 1,16 раза, а у трактора с полугусеничным двигателем - в 1,09 раза. Полученные результаты теоретических и экспериментальных значений находятся в пределах доверительного интервала, что говорит о достоверности проводимых исследований.

Для определения конкретных значений воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов на почву были проведены экспериментальные исследования, которые включали изучение изменения показателей физических свойств почвы на поворотах.

В ходе проведения полевых испытаний были определены показатели твёрдости и плотности почвы при воздействии на неё колёсного трактора класса 1,4 экспериментального на полугусеничном ходу. Постановка полугусеничного хода позволила снизить плотность почвы по следу на 30 %, твёрдость - на 25 %, а глубину колеи - на 45...62%, по сравнению с серийным трактором.

Исследования по распределению баланса времени смен показали, что время основной работы на бороновании у серийного трактора составило 63%, а с полугусеничным ходом 70%, а на повороте соответственно 6% и 10%.

**В пятой главе** «Энергетическая и экономическая оценка выполненных исследований» установлено, что использование трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу дает экономию полных энергозатрат на бороновании 11,3МДж/га. Годовой экономический эффект от использования трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу на ранневесенних работах составляет 1052 р. на 1га.

## ВЫВОДЫ

1. Получены дифференциальные уравнения движения трактора на полугусеничном ходу, позволяющие утверждать, что при повороте на движитель действуют продольные и поперечные реакции почвы, суммарный момент всех внешних сил, приложенных к машине относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести, радиус поворота, центр смещения и боковой увод.

2. Определено, что радиус поворота трактора на полугусеничном ходу меньше на 26..29%, величина буксования - на 31...45%, а показатель поворотливости - на 6,5..13% в зависимости от скорости движения, по сравнению с серийным.

3. Проведённые тяговые испытания показали, что использование полугусеничного хода позволяет повысить тяговое усилие до 10% по сравнению с серийным. В результате проведенных исследований установлено, что время основной работы на бороновании у серийного трактора составила 63%, а с полугусеничным ходом - 70%, а на повороте, соответственно, - 10% и 6%.

4. Постановка полугусеничного хода позволила снизить плотность почвы по следу на 30 %, твёрдость - на 25 %, а глубину колеи - на 45...62%, по сравнению с серийным трактором.

5. Установлено, что использование трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу дает экономию полных энергозатрат на бороновании 11,3 МДж/га. Годовой экономический эффект от использования трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу на ранневесенних работах составляет 1052 р. на 1 га.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**а) статьи в рекомендованных изданиях ВАК России:**

1. Дудников, С.А. Повышение эффективности работы колёсных тракторов тягового класса 1,4 / С.А.Дудников, С.В.Щитов// Механизация и электрификация сельского хозяйства.-2011.-№2.-С11-12.

2. Дудников, С.А. Исследование кинематики поворота трактора класса 1.4 / С.А.Дудников, С.В.Щитов// Вестник КрасГАУ.-2011.-№1.-С158-163.

3. Дудников, С.А. Особенности криволинейного движения трактора МТЗ с комбинированным движителем/ С.А.Дудников, В.А.Заика // Вестник КрасГАУ.-2011.-№8.-С202-207.

**б) статьи в других изданиях**

4. Дудников, С.А. Кинематика поворота трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу/ С.А.Дудников, А.С.Щитов// Россия в постреформенный период: региональные проблемы: мат. науч.-практ. конф..-Биробиджан, 2009.- С.86-90.

5. Дудников, С.А. Экспериментальные исследования техногенного воздействия трактора класса 1.4 на почву/ С.А. Дудников, И.Д. Темнюк// Механизация и электрификация технологических процессов в с.х. производстве: сб. науч.тр.ДальГАУ.-Благовещенск, 2009.-Вып.16.- С. 90-95.

6. Дудников, С.А. Радиус поворота трактора класса 1,4/ С.А.Дудников, И.Д. Темнюк // Современное состояние и перспективы развития комплексной механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего востока России: сб. науч. тр.- Благовещенск: ГНУ ДальНИП-ТИМЭСХ Россельхозакадемии, 2009. - С.244-248.

7. Дудников, С.А. Поворот трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу/ С.А.Дудников// Матер. X регион. науч.-практ. конф. «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», посвящённая году молодёжи в РФ (21-22 мая 2009 г., г.Благовещенск).- Благовещенск, 2009.-С.179-182.

8. Дудников, С.А. Особенности кинематики поворота трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу/ С.А.Дудников// Матер. XI регион. науч.-практ. конф. «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», посвящённая 65 годовщине Победы в Великой Отечественной Войне (20-21 мая 2009 г., г. Благовещенск).- Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2010. – Ч.3.- С.18-20.

9. Дудников,С.А. Использование теории силового потока в исследовании поворота трактора /С.А.Дудников, С.В.Щитов // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ.–Благовещенск: ДальГАУ, 2010. - Выпуск 17. –С.131-135.

10. Дудников,С.А. Дифференциальные уравнения движения трактора на полугусеничном ходу/С.А.Дудников, С.В.Щитов // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ.–Благовещенск: ДальГАУ, 2011. - Выпуск 18. –С.54-59.

Дудников Сергей Анатольевич

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТА ТРАКТОРА КЛАССА 1,4  
НА ПОЛУГУСЕНИЧНОМ ХОДУ В УСЛОВИЯХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 16.01.2012 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 1,0. Усл.-п.л. – 1,5.

Тираж 100 экз. Заказ 2.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86

