

63013

К 43

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. С.М.КИРОВА

На правах рукописи

КИРИЛЬЧИК АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ

УДК 629.114.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ
ЛЕСОВОЗНЫМ АВТОПОЕЗДОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИЦЕПОМ-РОСПУСКОМ
КОПИРНОГО ТИПА

05.21.01 Технология и машины лесного
хозяйства и лесозаготовок

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание: ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1986

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Жуков А.В.
Официальные оппоненты - доктор технических наук, Семенов В.М.
- кандидат технических наук, доцент
Абрамович К.Б.
Ведущее предприятие - Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) г.Химки

Защита состоится 15 апреля 1986 г. в 10 час. на заседании специализированного совета К.056.01.01 в Белорусском технологическом институте имени С.М.Кирова (220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13а, корпус 4, зал заседаний).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени С.М.Кирова.

Автореферат разослан "7" апреля 1986г.

Ученый секретарь
специализированного совета

ТРОФИМОВ С.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года указано, что производительность труда в лесной и деревообрабатывающей промышленности за данный период должна быть повышена на 14-16 процентов. Такой рост производительности труда может быть достигнут за счет обеспечения дальнейшего развития лесозаготовительной промышленности и оснащения предприятий высокопроизводительными машинами для лесозаготовок.

Процесс вывозки древесины лесовозными автопоездами в районах БССР, преимущественным образом производится по дорогам общего пользования. Поэтому к лесовозным автопоездам предъявляются повышенные требования по обеспечению безопасности движения в общем потоке транспортных средств. Наибольшая опасность создания аварийной ситуации на дорогах возникает при прохождении лесовозными автопоездами криволинейных участков дорог (поворотов и перекрестков) и находится в непосредственной зависимости от маневренных свойств автопоезда. Условия эксплуатации и режимы движения лесовозных автопоездов, при этом, имеют также ряд принципиальных особенностей, изучение которых позволяет выявить резервы повышения эффективности работы автотранспорта на вывозке леса.

Цель исследований состояла в повышении эффективности и безопасности работы лесовозных автопоездов на вывозке древесины по дорогам общего пользования за счет улучшения их маневренных свойств.

Задачи исследований:

- проанализировать условия эксплуатации лесовозных автопоездов при вывозке древесины по дорогам общего пользования, включая условия движения в черте города; оценить влияние маневренных свойств лесовозных автопоездов на его эксплуатационные и технико-экономические показатели; провести исследования по оценке безопасности движения лесовозных автопоездов на поворотах;
- разработать методику моделирования и нахождения оптимальных конструктивных параметров систем управления лесовозных автопоездов; провести расчетно-теоретические исследования влияния параметров кинематики системы управления на динамику криволинейного движения лесовозного автопоезда;
- разработать и изготовить экспериментальный образец системы управления лесовозного автопоезда с учетом результатов теоре-

тических исследований;

- провести экспериментальные исследования кинематики и динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда; проверить точность разрабатываемых математических моделей;

- дать рекомендации по улучшению кинематических и динамических параметров систем управления лесовозных автопоездов, повышению их эксплуатационных свойств и безопасности движения.

Научная новизна заключается в разработке взаимосвязанной математической модели, позволяющей производить оценку влияния параметров систем управления прицепом-ропуском на процесс криволинейного движения лесовозного автопоезда с учетом кинематических и динамических факторов, конструктивных параметров автопоезда и величины заднего свеса хлыстов. Разработана методика определения оптимальных конструктивных параметров систем управления лесовозных автопоездов. Исследованы закономерности движения лесовозных автопоездов на поворотах и перекрестках при эксплуатации по дорогам общего пользования и получены зависимости влияния их маневренных свойств на технико-эксплуатационные показатели работы и безопасность движения.

Практическая ценность работы заключается в том, что при использовании результатов кинематического и динамического анализа криволинейного движения лесовозных автопоездов сокращаются сроки проектирования и доводочных испытаний систем управления лесовозных автопоездов. Использование результатов работы позволяет снизить приведенные затраты на перевозку 1 м^3 древесины и повысить технико-эксплуатационные показатели работы лесовозных автопоездов. Использование разработанной методики оценки вероятности возникновения аварийной ситуации позволяет повысить безопасность движения лесовозного автотранспорта при эксплуатации по дорогам общего пользования.

Реализация результатов. Результаты исследований реализованы на предприятиях лесной промышленности и лесного хозяйства БССР. В частности, изготовленные экспериментальные образцы разработанной системы управления при установке на лесовозном автопоезде МАЗ-509А+ТМЗ-803 использовались в Борисовском ЛПХ Минской области и Домановском лесхозе Брестской области. Методика определения оптимальных конструктивных параметров использовалась при проектировании системы управления длиннобазного полуприцепа марки МАЗ-99851 и перспективному тягачу МАЗ-6422 на Минском автозаводе.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научно-технической конференции в АЛТИ, посвященной 60-летию образования СССР (апрель 1982), научно-технической конференции в проектно-конструкторском технологическом институте в Ивано-Франковске (июнь 1982), научно-технической конференции молодых ученых и специалистов в Гомеле (сентябрь 1984) и научно-технических конференциях БТИ им. С.М.Кирова по итогам научно-исследовательских работ за 1980-1985 г.г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, отражающих ее содержание.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, выводов, списка литературы, включающего 117 наименований, и 14 приложений. Основной материал изложен на 182 страницах и содержит 70 рисунков и 16 таблиц. Общий объем диссертации составляет 228 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и кратко изложены основные результаты работы.

В первом разделе рассмотрены особенности дорожных условий эксплуатации лесовозных автопоездов, проанализированы конструкции систем управления, проведен обзор литературы по теории криволинейного движения автопоездов в общем потоке транспортных средств, конструкциям и методам проектирования систем управления. Сформулированы цели и задачи исследования.

В настоящее время до 90% дорог, по которым производится вывозка леса являются дорогами общего пользования. В некоторых случаях, что диктуется расположением нижних складов, движение лесовозных автопоездов происходит непосредственно в черте города и характеризуется повышенной плотностью и интенсивностью движения транспортных средств, а также тем, что движение лесовозных автопоездов осуществляется на поворотах с малыми радиусами кривизны $R < 50\text{м}$. Как показали проведенные исследования, протяженность маршрутов движения в черте города составляет для условий БССР в среднем от 5 до 29% общего расстояния вывозки и имеются тенденции роста данных показателей.

Статистика показывает, что свыше 60% всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) приходится на город и другие населенные пункты. При этом, на поворотах и перекрестках концентрируется более 30% всех ДТП. Для лесовозных автопоездов данный вопрос ус-

губляется наличием заднего свеса хлыстов.

Вопросы изучения безопасности движения лесовозных автопоездов в процессе движения на криволинейных траекториях наиболее широко отражены в работах В.А.Горбачевского, В.П.Лажно, Б.И.Кувалдина, И.И.Леоновича, В.И.Мельникова, П.Д.Клычкова и др.

Заслуживают внимания вопросы по определению скоростей движения и времени хода лесовозных автопоездов на вывозке древесины, нашедшие отражение в работах В.П.Немцова, Б.А.Ильина, И.И.Леоновича, М.И.Зайчика, В.А.Горбачевского, Г.В.Зимелева и др.

Проведенные исследования показали, что вопросы определения скоростей движения и времени хода, а также безопасности движения по дорогам общего пользования, включая движение в черте города, в настоящее время изучены недостаточно. Не установлено влияние маневренных свойств лесовозных автопоездов на величины данных показателей.

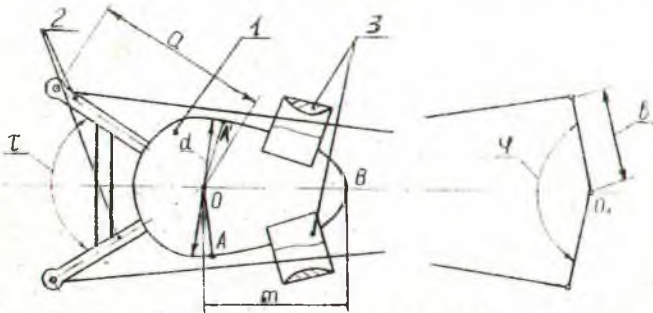
Работы по исследованиям свойств крестообразной сцепки лесовозных автопоездов принадлежат В.П.Лажно, В.А.Горбачевскому, М.И.Зайчику, П.Д.Клычкову и др. Силовые модели поворота автомобиля с прицепным звеном приведены в работах Я.Х.Закина, А.А.Хачатурова, А.С.Литвинова, В.М.Семенова, А.В.Жукова, Н.Ф.Бочарова, Э.Н.Ибрагимова, Д.Д.Силукова и др. Имеются работы по силовому взаимодействию тягача лесовозного автопоезда и прицепа-ропуски при прохождении криволинейных траекторий, приведенные в работах Г.М.Сokolова, П.Д.Клычкова, Г.Г.Сванидзе.

Необходимо отметить, что в литературе недостаточно ясно освещены вопросы определения передаточного отношения систем управления автопоездов и не произведены исследования зон неуправляемости, представляющих особую опасность при выходе лесовозного автопоезда из поворота. Также не произведена оценка влияния кинематических параметров систем управления прицепных средств на силовые параметры, характеризующие динамику криволинейного движения лесовозного автопоезда. Отсутствие данных разработок не дает возможности научного обоснования параметров систем управления лесовозных автопоездов, затрудняет прогнозирование таких машин при их проектировании и не позволяет обеспечивать достаточную надежность и безопасность работы.

Второй раздел посвящен исследованиям влияния маневренных свойств лесовозного автопоезда на показатели его эффективности и безопасности работы. Проведенные исследования показали, что появ-

шение эффективности и безопасности движения лесовозных автопоездов при вывозке древесины по дорогам общего пользования могут быть достигнуты за счет улучшения их маневренных свойств при использовании системы управления копирного типа, позволяющей полностью исключить внешний выбег прицепа-ропуска относительно траектории тягача и в 2,0-2,5 раза уменьшить внутренний выбег по сравнению с системой управления, выполненной в виде крестообразной сцепки. Конструктивная схема системы управления копирного типа представлена на рис. 1 и включает профильный подрамник 1, жестко закрепленный на задней поперечине тягача, и балки 2, установленные под углом ζ друг к другу, на концах которых крепятся тросы управления. По бокам профильного подрамника, симметрично его продольной оси установлены коробчатые ограничители, через которые пропущены тросы управления. При движении по прямой тросы управления не касаются профильной поверхности подрамника. Такое закрепление тросов управления позволяет в начальной стадии входа в поворот сводить к минимуму угол поворота прицепа-ропуски относительно дышла и исключать, таким образом, его внешний выбег относительно траектории тягача. С увеличением угла поворота тягача трос начинает обкатываться по профильной поверхности подрамника, обеспечивая при этом необходимый поворот прицепа-ропуски.

Схема системы управления лесовозного автопоезда
(по а.с. №910485)



1 - профильный подрамник; 2 - балки; 3 - ограничители

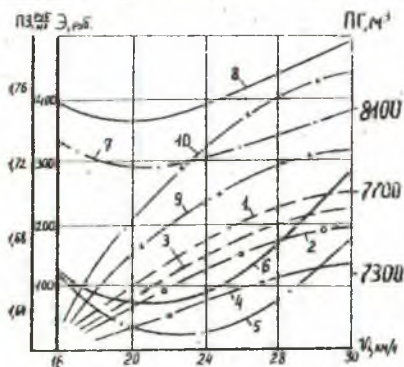
Рис. 1

Испытания лесовозного автопоезда МАЗ-509А+ТМЗ-803 с систе-

мой управления копирного типа проводились в Борисовском ЛЛХ. На основании результатов хронометражных наблюдений было установлено, что использование данной системы управления позволяет снизить потери времени лесовозного автопоезда на нерегулируемых перекрестках в среднем на 20-25% и 36-45% при движении на криволинейных траекториях регулируемых перекрестков по сравнению с аналогичным лесовозным автопоездом, оснащенным крестообразной сцепкой. Кроме того, использование системы управления копирного типа позволяет увеличить среднетехническую скорость лесовозного автопоезда в среднем на 8-10% в зависимости от интенсивности движения и обеспечивать движение в черте города в режиме, близком к режиму движения с минимальными приведенными затратами.

Эффективность использования лесовозных автопоездов оценивалась величиной среднегодовой производительности, приведенными затратами на перевозку 1 м^3 древесины Π^3 и годовой экономической эффективности Ξ от среднетехнической скорости движения

производительности, приведенными затратами на перевозку 1 м^3 древесины, а также годовой экономической эффективностью (рис. 2). Данные показатели приведены в зависимости от среднетехнической скорости движения и удельного коэффициента K_y , учитывающего отношение протяженности участков движения в условиях города и населенных пунктов к общему расстоянию вывозки. С увеличением среднетехнической скорости движения годовая производительность автопоездов увеличивается, однако, для автопоездов с разработанной сцепкой (РС) она выше в среднем на 3%. Приведенные затраты на перевозку 1 м^3 древесины изменяются по параболическому закону. Среднетехническая



1,5 - Π^3 и Π^3 для лесовозного автопоезда с РС при $K_y=0,2$; 3,7 - --, при $K_y=0,5$; 2,6 - -- для лесовозного автопоезда с КС при $K_y=0,2$; 4,8 - -- при $K_y=0,5$; 9,10 - Ξ , при $K_y=0,2$ и $K_y=0,5$
Рис. 2

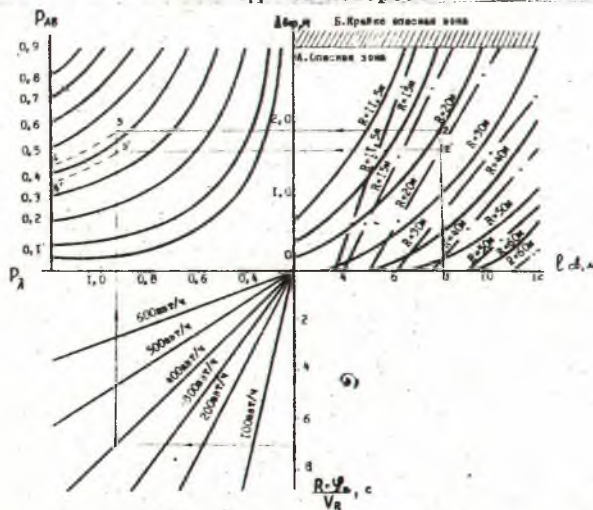
среднетехническая скорость движения, при которой достигаются минимальные значения приведенных затрат, при $K_y=0,2$ для автопоезда с РС составляет 23,1 км/ч, а для автопоезда с крестообразной сцепкой (КС) - 21,2 км/ч

При этом, приведенные затраты уменьшаются с 1,645 руб до 1,622руб, т.е. на 2,3коп. При $K_y = 0,5$ приведенные затраты уменьшаются на 3,1коп.

Анализ годовой экономической эффективности лесовозного автопоезда с РС показывает, что с увеличением среднетехнической скорости движения экономическая эффективность интенсивно возрастает. При этом, с увеличением протяженности дорог в условиях города эффективность работы лесовозного автопоезда с РС возрастает в среднем на 20-25%.

Разработанная методика оценки безопасности движения лесовозных автопоездов на поворотах позволила установить, что наибольшее влияние на величину аварийной вероятности, оказывает габаритная длина и ширина автопоезда, задний свес хлыстов и его маневренные свойства. Для проведения практических расчетов была построена номограмма для определения аварийной вероятности, приведенная на рис. 3. Использование системы управления копирного типа позволяет уменьшить занос вершинной части хлыстов и снизить аварийную вероятность лесовозного автопоезда на 18-20%.

Номограмма безопасности движения лесовозного автопоезда на повороте



— для лесовозного автопоезда с крестообразной сцепкой; - - - с разработанной сцепкой

Рис. 3

В третьем разделе изложены теоретические исследования кинематики и динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда. Приведен вывод обобщенного дифференциального уравнения кинематики криволинейного движения автопоезда, позволяющего определять передний угол складывания при движении автопоезда по произвольной траектории с учетом передаточного отношения системы управления:

$$U_i \cdot \sin[\delta(1+i)] + L_g(\alpha_1 + \delta) = 0, \quad (I)$$

где U_i - скорость движения автопоезда на повороте; δ - передний угол складывания автопоезда; i - передаточное отношение системы управления; α_1 - курсовой угол; L_g - база автопоезда.

С использованием уравнения (I) были получены зависимости для определения траекторий движения автопоезда на поворотах, если заданы координаты расположения точек, закон изменения линейной скорости тягача на повороте и закон поворота управляемых колес тягача. Схема положения лесовозного тягача на повороте приведена на рис. 4. Уравнения для определения траектории движения произвольной точки тягача имеют вид:

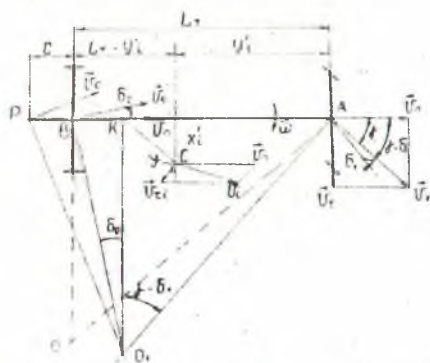


Рис. 4

$$x_i^T = x_0 + \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \frac{v_2 \cos \delta_2}{\cos \delta_i} \left[1 - \frac{(k_1 L_T - y_i') \operatorname{tg}(\delta - \delta_1) \operatorname{tg} \Psi}{k_1 L_T} \right] \times \right. \\ \left. \times \sin \left(\delta_0 + \delta_i + \frac{\cos \Psi}{k_1 L_T} \int_{t_1}^{t_2} v_2 \cdot \cos \delta_2 \cdot \operatorname{tg}(\delta - \delta_1) dt \right) \right\} dt; \quad (2)$$

$$y_i^T = y_0 + \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \frac{v_2 \cos \delta_2}{\cos \delta_i} \left[1 - \frac{(k_1 L_T - y_i') \operatorname{tg}(\delta - \delta_1) \operatorname{tg} \Psi}{k_1 L_T} \right] \times \right. \\ \left. \times \cos \left(\delta_0 + \delta_i + \frac{\cos \Psi}{k_1 L_T} \int_{t_1}^{t_2} v_2 \cdot \cos \delta_2 \cdot \operatorname{tg}(\delta - \delta_1) dt \right) \right\} dt, \quad (3)$$

где t_1 и t_2 - время начала входа в поворот и выхода из поворота;
 Схема прицепного звена автопоезда на повороте

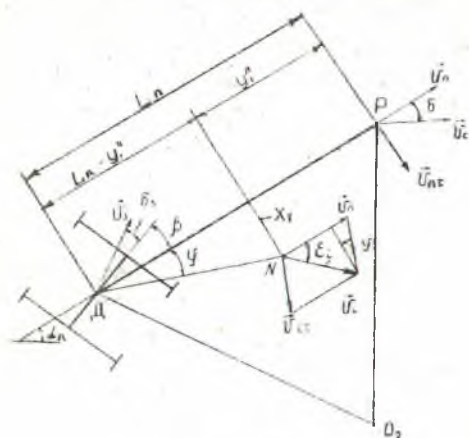


Рис. 5

X_0 и Y_0 - координаты начала расположения тягача при входе в поворот; δ_0 - угол начального поворота колес тягача; δ_i - угол наклона вектора абсолютной скорости относительно продольной оси тягача; δ_1 и δ_2 - увод шин передней и задней осей тягача; L_T - база тягача; K_1 - коэффициент смещения мгновенного центра вращения тягача.

На рис. 5 приведена схема положения прицепного звена автопоезда на повороте. Уравнения для определения траекторий

движения произвольной точки прицепного звена имеют вид:

$$X_i^n = X_0' + \int_{t_1}^{t_2} \frac{V_c}{\cos \xi_i} \left(\cos \delta - \frac{X_i''}{K_2 L_n} \sin \delta \right) \times \sin \left(\delta_0' + \delta_c + \frac{1}{K_1 L_n} \int_{t_1}^{t_2} V_2 \cos \delta_2 \operatorname{tg} (\delta - \delta_1) dt + \delta - \xi_i \right) dt; \quad (4)$$

$$Y_i^n = Y_0' + \int_{t_1}^{t_2} \frac{V_c}{\cos \xi_i} \left(\cos \delta - \frac{X_i''}{K_2 L_n} \sin \delta \right) \times \cos \left(\delta_0' + \delta_c + \frac{1}{K_1 L_n} \int_{t_1}^{t_2} V_2 \cos \delta_2 \operatorname{tg} (\delta - \delta_1) dt + \delta - \xi_i \right) dt. \quad (5)$$

где X_0' и Y_0' - координаты начального расположения точки сцепки; X_i'' и Y_i'' - координаты произвольной точки прицепного звена; ξ_i - угол наклона абсолютной скорости произвольной точки прицепного звена; K_2 - коэффициент смещения центра вращения прицепного звена; V_c - скорость точки сцепки.

С использованием уравнений (2), (3), (4) и (5) исследовались кинематические параметры систем управления и была разработана методика выбора параметров систем управления лесовозных автопоездов,

которая включает следующие основные этапы: 1 - выбор и обоснование структурной кинематической схемы системы управления; 2 - определение кинематических параметров выбранной схемы системы управления; 3 - определение рациональных условий характеристик; 4 - определение конструктивных параметров выбранной системы управления путем решения задачи оптимизации; 5 - проверка и корректировка конструктивных параметров с использованием обобщенного уравнения кинематики.

При проектировании систем управления лесовозных автопоездов проводилось всестороннее исследование, включающее определение как кинематических, так и динамических параметров. Расчетная схема динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда представлена на рис. 6. Отличительной особенностью приведенной расчетной модели является то, что динамические показатели нагруженности привода рассматривались в зависимости от кинематики системы управления.

Расчетная схема динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда

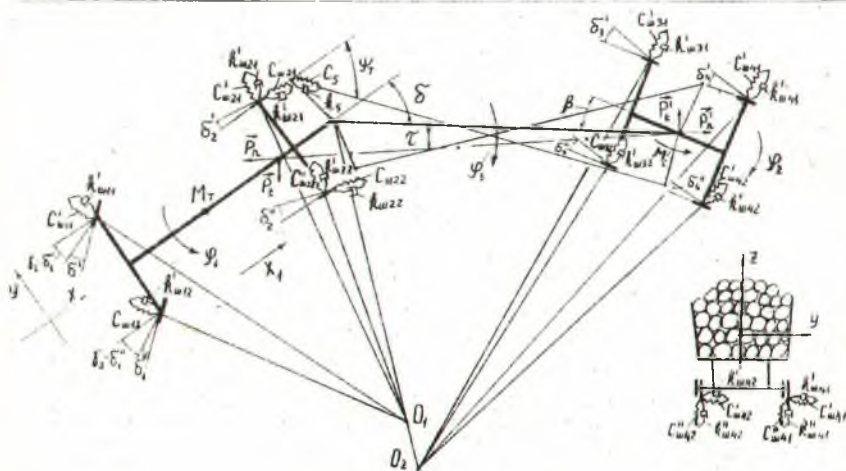


Рис. 6

Дифференциальные уравнения динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} M_T \ddot{x}_1 + \mathcal{M}_1 \dot{x}_1 + C_1 x_1 - h_1 \dot{\psi}_3 - m_1 \psi_3 &= P_1; \\ J_{np}^0 \ddot{\psi}_3 + \mathcal{M}_2 \dot{\psi}_3 + C_2 \psi_3 + h_2 \dot{x}_1 - m_2 x_1 &= P_2; \\ J_T^z \ddot{\psi}_1 + \mathcal{M}_3 \dot{\psi}_1 + C_3 \psi_1 - h_3 \dot{\psi}_2 - m_3 \psi_2 &= P_3; \\ J_{np}^z \ddot{\psi}_2 + \mathcal{M}_4 \dot{\psi}_2 + C_4 \psi_2 - h_4 \dot{\psi}_1 - m_4 \psi_1 &= P_4, \end{aligned} \right\} (6)$$

где $\mathcal{M}_1 = 2 \cdot K_{w1} \sin^2(\gamma - \delta_1) - 2 K_{w2} \cos^2 \delta_2 - 2 K_{w2} \sin^2 \delta_2 + K_5 \cos^2 \psi_T$;

$$C_1 = 2 \cdot C_{w1} \sin^2(\gamma - \delta_1) - 2 C_{w2} \cos^2 \delta_2 + 2 C_{w2} \sin^2 \delta_2 + C_5 \cos^2 \psi_T$$
;

$$K_1 = K_5 g_n \cos \psi_T; \quad m_1 = C_5 g_n \cdot \cos \psi_T$$
;

$$P_1 = P_T \cos \delta_3 - P_{f2} \cos(\gamma - \delta_1) - P_{f2} \cos \delta_2$$
;

$$\mathcal{M}_2 = -2 K_{w3} g_n^2 \sin^2 \delta_3 - 2 K_{w4} g_n^2 \sin^2 \delta_4 + K_5 g_n^2$$
;

$$C_2 = -2 C_{w3} g_n^2 \sin^2 \delta_3 - 2 C_{w4} g_n^2 \sin^2 \delta_4 + C_5 g_n^2$$
;

$$h_2 = K_5 g_n \cos \psi_T; \quad m_2 = C_5 g_n \cos \psi_T$$
;

$$P_2 = -P_{f3} g_n \cos \delta_3 - P_{f4} g_n \cos \delta_4 - P_n \cdot L_g \sin \tilde{\tau} - P_t L_g \cos \tilde{\tau}$$
;

$$\mathcal{M}_3 = 2 \cdot K_{w1} \cdot z_1^2 \sin^2(\gamma - \delta_1) + 2 K_{w2} z_2^2 \sin^2 \delta_2 - 2 K_{w2} z_2^2 \cos^2 \delta_2 - K_5 z_{np}^2 \sin^2 \psi_T$$
;

$$C_3 = 2 \cdot C_{w1} \cdot z_1^2 \cos^2(\gamma - \delta_1) + 2 \cdot C_{w2} z_2^2 \sin^2 \delta_2 - 2 C_{w2} z_2^2 \cos^2 \delta_2 - C_5 z_4^2 \sin^2 \psi_T$$
;

$$K_3 = K_5 z_{np}^2 \cdot \sin^2 \psi_T; \quad m_3 = C_5 z_{np}^2 \sin \psi_T$$
;

$$P_3 = P_T z_2 \sin \delta_2 + P_{f1} z_1 \sin(\gamma - \delta_1) - P_{f2} z_2 \sin \delta_2 + F_{TP1} \cdot \ell_{TP1}$$
;

$$\mathcal{M}_4 = -2 \cdot K_{w3} z_3^2 \cos^2 \delta_3 + 2 K_{w4} z_3^2 \cos^2 \delta_4 - K_5 z_4^2 \sin^2 \psi_T$$
;

$$C_4 = -2 C_{w3} z_3^2 \cos^2 \delta_3 + 2 C_{w4} z_3^2 \cos^2 \delta_4 - C_5 z_{np}^2 \sin^2 \psi_T$$
;

$$h_4 = -K_5 z_{np}^2 \sin^2 \psi_T; \quad m_4 = -C_5 z_{np}^2 \cdot \sin^2 \psi_T$$
;

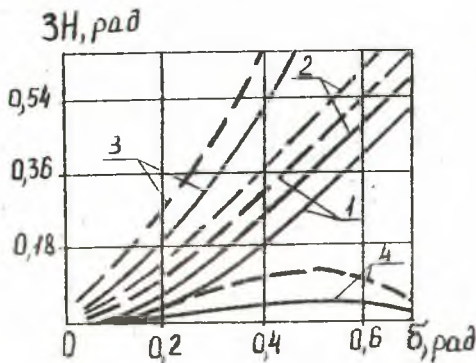
$$P_4 = P_{f3} z_3 \cdot \sin \delta_3 - P_{f4} z_3 \cdot \sin \delta_4 + F_{TP2} \cdot \ell_{TP2}$$
 .

Система дифференциальных уравнений, описывающих криволинейное движение лесовозного автопоезда на повороте, решалась на ЭВМ методом разложения в ряд Тейлора.

С использованием разработанных математических моделей проведены расчетные исследования конструктивных параметров систем управления и проведена оценка их влияния на кинематику и динамику криволинейного движения лесовозного автопоезда.

Оценка кинематических параметров систем управления лесовозных автопоездов показывает, что при выходе лесовозного автопоезда из поворота возможно отсутствие жесткой фиксированной связи прицепа-ропуски с тягачом и появление зоны неуправляемости (ЗН). На рис. 7 приведены зависимости изменения ЗН лесовозных автопоездов с учетом влияния как деформации тросов, так и его провисания. Максимальные значения ЗН достигают

при движении автопоезда на поворотах с малыми радиусами кривизны. При $R = 15\text{м}$ ЗН автопоезда МАЗ-509А+ТМЗ-803 достигает порядка $12-13^\circ$, а для автопоезда КраЗ-255+

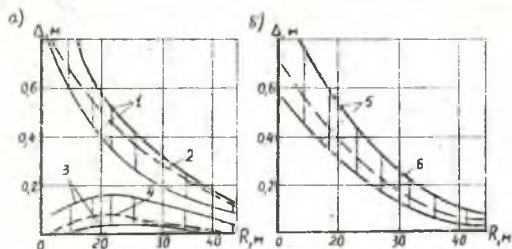


— ЗН без учета деформации тросов;
 - - - с учетом деформации тросов; 1 - для лесовозного автопоезда МАЗ-509А+ТМЗ-803; 2 - КраЗ-255+ТМЗ-803; 3 - для разработанной сцепки без ограничителей; 4 - "—" с ограничителями
 Рис. 7

ТМЗ-803 - $14-15^\circ$. С увеличением радиусов поворотов ЗН уменьшаются и при $R > 40\text{м}$ становятся незначительными. Для РС установка ограничителей необходима, так как без них ЗН уже при $R = 15\text{м}$ достигает $30-31^\circ$. Установка ограничителей обеспечивает подтягивание холостой ветви сцепки. При $R = 15\text{м}$ ЗН составляет $4-3^\circ$, что в 3,8 раза меньше, чем для автопоезда МАЗ-509А+ТМЗ-803 с крестообразной сцепкой.

На рис. 8 приведены теоретические и экспериментальные зависимости изменения внутреннего и внешнего выбегов прицепа-ропуски от радиусов поворотов. Для автопоезда с крестообразной сцепкой с уменьшением радиусов поворотов внутренний и внешний выбеги прице-

па-ропуска относительно траектории тягача возрастают. Использование системы управления копирного типа полностью позволяет исключить внешний выбег прицепа-ропуска и в 2,0-2,5 раза уменьшить внутренний выбег. Расхождения между расчетными и экспериментальными данными не превышают 12-17%.

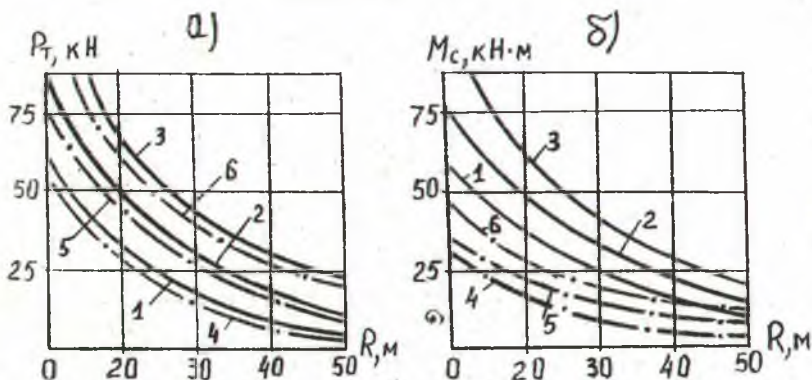


1, 2 - граничные кривые экспериментальных данных и теоретическая кривая внутреннего выбега прицепа-ропуска при крестообразной сцепке; 3, 4 - тоже при разработанной сцепке; 5, 6 - тоже для внешнего выбега крестообразной сцепки

Рис. 8

Зависимости максимальных усилий в тросах управления и моментов сопротивления, действующих на тягач со стороны сцепки, представлены на рис. 9. Из данных зависимостей видно, что с увеличением нагрузки на рейс и уменьшением радиусов поворотов усилия в

Зависимости максимальных усилий в тросах управления (а) и моментов сопротивления (б), действующих на тягач со стороны сцепки



1, 2, 3 - для лесовозного автопоезда с КС при нагрузке на рейс 15, 20 и 25 м³; 4, 5, 6 - - - - для лесовозного автопоезда с РС

Рис. 9

тросах и моменты сопротивления возрастают. Использование системы управления копирного типа позволяет в среднем на 9-15% снизить максимальные усилия в тросах управления, а максимальный момент сопротивления, действующий на тягач со стороны сцепки, уменьшить в 2,5 раза.

В четвертом разделе изложена методика экспериментальных исследований кинематики и динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда. Приведены результаты лабораторных исследований по определению компоновочных параметров лесовозных автопоездов и кинематических параметров систем управления, построены зависимости, характеризующие влияние выбора расчетного радиуса кривизны при определении конструктивных параметров систем управления.

Дорожные испытания проводились с груженным лесовозным автопоездом МАЗ-509А+ТМЗ-803, нагрузка на рейс составляла 21,2 м³. Заезды производились на ровной горизонтальной площадке с укатанным грунтовым покрытием. В процессе эксперимента производилась запись на осциллограф К-12-22 усилий в тросах управления, углов поворота управляемых колес тягача, а также углов переднего и заднего складывания автопоезда. Курсовой угол поворота автопоезда записывался при помощи гирокомпаса.

Оценка результатов экспериментальных исследований показала, что колебания усилий в тросах управления распределены по нормальному закону. Наибольшие амплитуды колебаний усилий в тросах управления лесовозного автопоезда с КС при движении на повороте $R = 15\text{ м}$ со скоростью $V = 0,83\text{ м/с}$ достигают 5,4 кН и составляют 1-2% от общего числа амплитуд отклонений. Амплитуды колебаний усилий в 3-4 кН составляют 6-10%, а в 1-2 кН - 17-24%. С увеличением скорости движения автопоезда на повороте амплитуды колебаний усилий в тросах управления возрастают. При скорости 4,17 м/с наибольшие отклонения амплитуды усилий достигают 10,3 кН и составляют 3% общего числа амплитуд отклонений. Амплитуды в 6-8 кН составляют 7-16%, а в 2-4 кН - 25-34%.

Для лесовозного автопоезда с РС при скорости 4,17 м/с наибольшие отклонения амплитуд усилий в тросах не превышают 8,2 кН и составляют не более 2%. Амплитуды усилий в 6-8 кН составляют 2-7%, а в 2-4 кН - 17-34%. Таким образом, использование разработанной системы управления копирного типа позволяет снижать амплитуды колебаний усилий в тросах управления в среднем на 5-12%.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Повышение эффективности и безопасности движения лесовозного автотранспорта при вывозке древесины по дорогам общего пользования могут быть достигнуты за счет улучшения маневренных свойств лесовозных автопоездов при использовании системы управления прицепом-ропуском копирного типа, позволяющей полностью исключить внешний выбег прицепного звена при движении на поворотах с малыми радиусами кривизны $R < 50\text{м}$ и в 2,0-2,5 раза уменьшить внутренний выбег по сравнению с системой управления, выполненной в виде крестообразной сцепки.

2. Анализ движения лесовозных автопоездов при вывозке древесины по дорогам общего пользования показал следующее:

а) на лесозаготовительных предприятиях БССР протяженность маршрутов движения лесовозных автопоездов непосредственно в черте города составляет в среднем от 5 до 29% общего расстояния вывозки. При этом определение среднетехнической скорости движения и времени хода лесовозных автопоездов необходимо производить с учетом потерь времени на поворотах и перекрестках, которые достигают 30-45% общего времени движения в черте города;

б) использование системы управления прицепом-ропуском копирного типа позволяет снизить потери времени на поворотах и перекрестках на 25-45%, а также обеспечить движение в черте города в режиме, близком к режиму движения с минимальными приведенными затратами.

3. Улучшение маневренных свойств оказывает влияние на величину среднетехнической скорости движения. У лесовозных автопоездов с системой управления копирного типа среднетехническая скорость движения возрастает на 8-10%, в зависимости от дорожных условий. При этом среднегодовая производительность возрастает на 3,2%, а приведенные затраты на перевозку 1м^3 древесины уменьшаются в среднем на 2,8коп.

4. Разработанная методика оценки безопасности движения лесовозных автопоездов на поворотах позволила установить, что наибольшее влияние на величину аварийной вероятности, возникающей при заносе вершинной части хлыстов, оказывают габаритная длина и ширина лесовозного автопоезда, задний свес хлыстов и его маневренные свойства. Использование системы управления копирного типа, за счет исключения внешнего выбега прицепа-ропуски на поворотах, позволяет уменьшить занос вершинной части хлыстов и снизить ава-

рийную вероятность лесовозного автопоезда на 18-20%.

5. Анализ кинематических параметров систем управления показал, что при выходе лесовозного автопоезда из поворота нарушается жесткая фиксированная связь прицепа-ропуски с тягачом и возникает зона неуправляемости, которая является результатом кинематического несоответствия и не устраняется регуляторными. Система управления копирного типа позволяет уменьшить зону неуправляемости прицепа-ропуски в 3,8 раза.

6. Разработанный комплекс математических моделей кинематики и динамики криволинейного движения лесовозного автопоезда позволяет на стадии проектирования производить оценку маневренных свойств лесовозных автопоездов и определять нагруженность элементов систем управления. Отличительной особенностью математических моделей является то, что они позволяют учитывать скорости движения на повороте, а также закономерность изменения угла поворота управляемых колес тягача.

Расхождения расчетных и экспериментальных данных при оценке кинематических параметров не превышают 6%, расхождения при оценке динамической нагруженности находятся в пределах 12-20%.

7. Оценка динамической нагруженности элементов систем управления показывает, что использование системы управления копирного типа позволяет снизить максимальные усилия в тросах управления в среднем на 9-15%, а максимальный момент сопротивления, действующий на тягач со стороны сцепки, уменьшить в 2,5 раза.

8. Годовой экономический эффект от внедрения системы управления копирного типа на одном лесовозном автопоезде составляет от 0,9 до 1,2 тыс. рублей в зависимости от дорожных условий эксплуатации.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Жуков А.В., Кирильчик А.И. Общая методика оценки траектории движения лесовозного автопоезда при повороте // Лесной журнал. - 1981. - №5. - С. 17-20.

2. Кирильчик А.И., Гермацкий А.В. Определение рациональных параметров системы управления длиннобазных автопоездов // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1981. - Вып. II. - С. 122-125.

3. Кинематика крестообразной сцепки лесовозных автопоездов / Жуков А.В., Мартыненко Г.В., Кирильчик А.И., Шишло В.П. // Конструкции автомобилей: Экспресс-информация. - 1982. - №2. -

С. 5-6.

4. Система управления длиннобазного автопоезда / Жуков А.В., Кодолко Л.И., Кирильчик А.И., Шитло В.П. // Конструкция автомобилей: Экспресс-информация. - 1982. - №3. - С.14-17.

5. Кирильчик А.И. Исследование маневренности лесовозного автопоезда // Тезисы доклада научно-технической конференции. - Архангельск, 1982. - С. 73-74.

6. Кирильчик А.И. Система управления лесовозного автопоезда // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1982. - Вып. 12. - С. 107-110.

7. Жуков А.В., Кирильчик А.И. Исследование маневренных свойств автопоездов с учетом заднего свеса хлыстов // Тезисы доклада научно-технической конференции. - Ивано-Франковск, 1982. - С. 80-81.

8. Кирильчик А.И. Габаритная полоса движения тягача лесовозного автопоезда на повороте // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1983. - Вып. 13. - С. 55-58.

9. Кирильчик А.И. Основные кинематические параметры крестообразной сцепки лесовозного автопоезда // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1984. - Вып. 14. - С. 100-103.

10. Жуков А.В., Кирильчик А.И. Аналитический метод определения траекторий характерных точек лесовозных тягачей при движении на повороте // Лесной журнал. - 1983. - №5. - С. 34-38.

11. Кирильчик А.И. Режим движения автопоездов по дорогам с большой плотностью поворотов (перекрестков) // Тезисы доклада научно-технической конференции. - Гомель, 1984. - С. 28-29.

12. Кирильчик А.И. Анализ работы сцепки лесовозного автопоезда с учетом деформации тросов управления // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1985. - Вып. 15. - С. 109-113

13. А.с. 856883 СССР, МКН³ В62Д 13/02. Устройство для управления колесами полуприцепа. / А.В.Жуков, А.И.Кирильчик, В.П.Шитло, Е.А.Фадеев (СССР). - Оpubл. 15.01.81, Бюл. №31. - Зс.: ил.

14. А.с. 910485 СССР, МКН³ В62Д 13/02. Устройство для управления колесами полуприцепа. / А.В.Жуков, А.И.Кирильчик, В.П.Шитло, Г.А.Синеговский (СССР). - Оpubл. 7.03.82, Бюл. №9. - 4с.: ил.

15. А.с. 933524 СССР, МКН³ В62Д 13/02. Устройство для управления колесами прицепа. / А.В.Жуков, А.И.Кирильчик, В.А.Симанович, В.П.Шитло (СССР). - Оpubл. 7.06.82, Бюл. № 21. - Зс.: ил.

16. А.с. 1000331 СССР, МКИ³ В62Д 13/02. Устройство для управления колесами полуприцепа. / А.И.Кирильчик, А.В.Жуков, А.И.Смеян, В.А.Симанович (СССР). - Оpubл. 5.03.83, Бюл. №8. - 4с.: ил.

17. А.с. 1092072 СССР, МКИ³ В60Р 3/40. Автопоезд для транспортировки длиномерных грузов. / А.И.Кирильчик, А.В.Жуков, А.И.Арабей, В.А.Симанович (СССР). - Оpubл. 15.05.84, Бюл. №18. - 4с.: ил.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями просим прислать по адресу: 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13а, БТИ, Ученый совет.

Александр Иванович Кирильчик

Повышение эффективности вывозки древесины лесовозным автопоездом при использовании системы управления прицепом-ропуском копирного типа

Подписано в печать 240286 АТ13566 . Формат 60x84¹/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. I,17. Усл.кр.-отт. I,17.
Уч.-изд.л. I . Тираж 100 экз. Заказ 129 . Бесплатно.
Отпечатано на ротапринтере Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М. Кирова.
220630, Минск, Свердлова, 13.