

Автор ерр.
Д 72

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инженер А. И. ДРАНОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ
МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель --
доктор технических наук,
профессор И. И. Кринецкий

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

Инженер А. И. ДРАНОВСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОЖДЕНИЯ
МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доктор технических наук,
профессор И. И. Кринецкий.

Переучет 19.8.84

ОНАХТ
27.07.11
Исследование и разра



v000961

с. в. 961 v 000961

Одесский технологический
институт
им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

ОДЕССА—1966

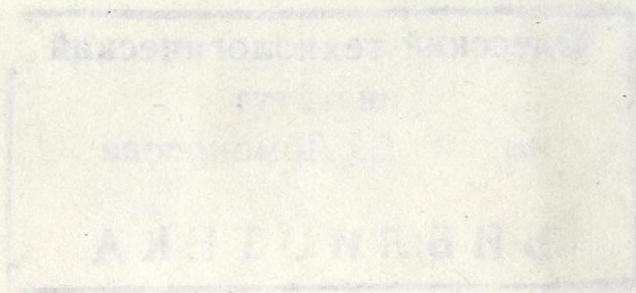
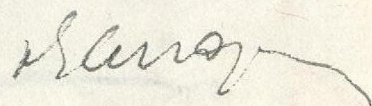
Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы инженера Драновского А. И. на тему «Исследование и разработка систем автоматического вождения мобильных объектов по заданной траектории», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится « 27. » мая 1966 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова № 112, Одесский технологический институт.

Работа выполнена на Одесской научно-исследовательской испытательной станции Государственного союзного научно-исследовательского тракторного института (НАТИ).

Ученый секретарь Совета ЗАПОРОЖЕЦ Л. А.



В настоящее время во многих научно-исследовательских и проектных организациях Советского Союза и за рубежом получили широкое развитие работы по автоматическому управлению мобильными объектами. В некоторых случаях водители в силу ограниченности своих физиологических возможностей не могут обеспечить требуемое качество вождения. Автоматизация дает возможность обеспечить безопасную работу водителей на участках с вредными условиями труда и повысить его производительность.

Автоматическое вождение мобильных объектов может найти применение при движении машин по постоянным трассам: при разгрузочно-погрузочных работах, на внутризаводском транспорте, в карьерах, отдельных видах сельскохозяйственных работ, на испытательных полигонах и т. д.

В настоящее время имеется ряд научных работ, посвященных автоматическому вождению мобильных машин. Среди них работы С. А. Литинского, Н. Н. Настенко, С. А. Богданова, Я. Л. Бронштейна, В. А. Гурьянова, С. П. Гельфенбейна, А. А. Свищевского, А. В. Калоева, В. Д. Шеповалова и других.

Настоящая работа возникла в связи с внедрением в практику опытно-конструкторских и экспериментальных работ ускоренных испытаний движущихся объектов на полигонах.

Ускоренные испытания, по сравнению с обычными эксплуатационными, во много раз сокращают длительность и стоимость доводки новых моделей, обеспечивают более высокое их качество, уменьшают затраты на конструирование, позволяют быстрее устранить недостатки серийно выпускаемых машин и в кратчайшие сроки повысить их долговечность и надежность.

Полигоны для ускоренных испытаний прочности мобильных объектов состоят из участков с различными видами искусственных сооружений и препятствий в виде шпал, бревен, металлических преград разной формы, типа «шашка» и др.

Условия труда испытателей на таких полигонах очень тяжелые. Например, на треках Одесской научно-исследовательской станции НАТИ водители самоходных машин испытывают перегрузки до $3g$ с частотой порядка $0,5-1,5$ гц. Поэтому вопросы улучшения условий их труда имеют важное значение для внедрения ускоренных испытаний на прочность и долговечность.

Автоматизация управления мобильными объектами — проблема большой технической сложности. Она усугубляется еще и тем, что на испытания поступают машины разных марок.

За рубежом известны попытки автоматизировать вождение машин на треках. Однако сведения об этих работах носят лишь рекламный характер и не содержат никаких конкретных данных.

Известные автору работы в области автоматизации вождения мобильных объектов нельзя непосредственно применить для вождения машин на прочностных полигонах. Между тем эта проблема крайне актуальна.

Основными задачами настоящей работы являются:

1. Обоснование и разработка технических требований к системам автоматического вождения мобильных объектов при ускоренных испытаниях на долговечность.
2. Исследование гусеничной машины как объекта управления.
3. Теоретическое и экспериментальное обоснование рациональной системы автоматического вождения.
4. Разработка комплекса аппаратуры, обеспечивающего автоматическое вождение мобильных объектов и безопасность работы на треках с искусственными препятствиями.

Диссертация состоит из введения и четырех глав.

I

В первой главе приведен обзор состояния вопроса по литературным источникам, анализ работы человека-оператора при управлении автоматически движущимися объектами и сформулированы основные технические требования к комплексу необходимой для этого аппаратуры с учетом методики ускоренных прочностных испытаний на полигонах. Аппаратура должна обеспечить: автоматическое вождение машин разных марок; остановку и пуск объектов; резервирование каналов остановки и пуска; остановку двигателя при отсутствии давления масла в системе смазки и повышении температуры в системе охлаждения и т. д. Переходный процесс должен иметь время регулирования менее двух секунд и одно перерегулирование менее 20%. Максимальный угол отклонения машины от заданной траектории должен быть не более 10° .

Анализ существующих способов ориентации мобильных объектов показывает, что рационально задавать траекторию движения с помощью предварительно проложенного провода, по которому течет переменный ток звуковой частоты. Этот способ ориентации имеет ряд преимуществ:

- 1) бесконтактная связь между заданной траекторией и автоматом;
- 2) высокая повторная точность;
- 3) сравнительная простота устройств, вырабатывающих сигналы, пропорциональные отклонению от траектории;
- 4) возможность использования несущей частоты для подачи сигналов управления;
- 5) высокая надежность выполненного на полупроводниковых приборах чувствительного элемента в условиях значительных вибрационных нагрузок.

Воспроизвести заданную траекторию рационально с помощью чувствительного элемента, собранного по амплитудно-фазовой схеме, которая имеет более высокую помехозащищенность от посторонних магнитных полей, более высокую повторную точность и большую зону линейности, чем амплитудно-разностная.

II

Во второй главе проведено исследование гусеничной машины как объекта управления. Анализ динамики движения гусеничной машины в общем виде — сложная задача, поэтому при теоретическом анализе сделан ряд допущений: движение гусеничной машины рассматривалось как плоскопараллельное; мощность двигателя не ограничивает динамики поворота; центр тяжести расположен на продольной оси симметрии; нормальное давление на почву по длине гусениц распределено равномерно; ширина опорной поверхности гусениц равна нулю; буксование и скольжение отсутствуют. В главе рассмотрены переходные режимы при небольших отклонениях объекта и выведено дифференциальное уравнение гусеничной машины как объекта регулирования, которое связывает угол ее отклонения и поворачивающий момент. Передаточная функция гусеничной машины имеет вид:

$$W(p) = \frac{K}{p(Tp + 1)}$$

Данное уравнение показывает, что гусеничная машина может быть аппроксимирована апериодическим интегрирующим звеном.

Постоянная времени T и коэффициент усиления K объекта находятся в сложной зависимости от конструкции машины, момента инерции, скорости, коэффициента сопротивления повороту и других величин. Так как передаточная функция гусеничной машины выведена после ряда допущений, было проведено экспериментальное исследование, которое имело следующие задачи:

- 1) экспериментальным путем подтвердить выведенную передаточную функцию;
- 2) определить зависимость коэффициентов передаточной функции от скорости;
- 3) выяснить характер изменения коэффициентов передаточной функции на треке.

Объектом исследования был гусеничный трактор ДТ-75, оборудованный электрогидравлическим сервоприводом механизмов поворота. Экспериментально снимались на разных фонах переходные характеристики путем подачи поворачивающего момента в виде единичного скачка. При опытах определялись: поворачивающий момент, траектории движения передней и задней точек на продольной оси машины, время переходного процесса.

Поворачивающий момент определялся измерением крутящих моментов на левой и правой гусеницах при помощи тензоступиц с ртутно-амальгамированными токосъемниками. Тензоэлементы тарировались нагружением полуосей через рычаги. Точность тарировки $\pm 1-1,5\%$. Ошибка, вносимая обработкой осциллограмм, $\pm 2\%$. Для записи траектории движения гусеничной машины применен индукционный траектограф. Определялась траектория относительно проложенного на глубине 0,5 м под поверхностью земли кабеля, питаемого переменным током частотой 1000 гц. Сила тока в линии 0,5 а. Последовательность срабатывания электрогидравлического сервопривода и механизма поворота фиксировалась с помощью тензоэлементов. Тензодатчики наклеивали на пальцы планетарного и остановочного тормозов. Переходные характеристики снимались при подаче на соленоиды электрогидравлического привода напряжения в виде единичного скачка. Процессы записывали на шлейфовые осциллографы Н-700 с помощью самоходной тензометрической лаборатории. Результаты экспериментального и теоретического исследований передаточной функции совпадают с удовлетворительной точностью.

Эксперименты позволили заключить:

1. Коэффициент усиления трактора ДТ-75 при постоянной скорости изменяется на треке с препятствиями в пределах $(1-1,5) K_0$, где K_0 — коэффициент усиления на булыжной дороге.

2. Постоянная времени объекта T с увеличением скорости в диапазоне 1,41—2,97 м/сек увеличивается.

3. Можно считать, что при движении объекта по треку электрогидравлический привод создает чистое запаздывание. Передаточная функция гусеничной машины с электрогидравлическим приводом на рычаги управления имеет вид:

$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{p(Tp + 1)}$$

III

В третьей главе по результатам теоретического исследования и моделирования обоснована рекомендуемая структурная схема системы автоматического вождения. Были исследованы три системы автоматического вождения: линейная, у которой поворачивающий момент является функцией отклонения объекта от траектории; нелинейная с зоной нечувствительности второго рода; широтно-импульсная, у которой длительность приложения поворачивающего момента представляет собой функцию дискретного значения отклонения объекта.

Чувствительный элемент, собранный по амплитудно-фазовой схеме, вырабатывает сигнал, пропорциональный линейному отклонению гусеничной машины от заданной траектории при расстоянии менее 0,4—0,5 м. Передаточная функция, связывающая угол отклонения машины от траектории и величину отклонения чувствительного элемента от опорной линии, имеет вид:

$$W(p) = \frac{K_2}{p} (T_2 p + 1),$$

где $K_2 = V_0$

$$T_2 = \frac{R}{V_0}$$

V_0 — скорость движения объекта;

R — вынос чувствительного элемента относительно центра тяжести по продольной оси симметрии объекта.

Большинство предложенных в последние годы систем автоматического вождения относится к классу нелинейных, у которых в качестве усилителя мощности применяется трехпозиционный релейный электрогидравлический усилитель без обратной связи. Однако качество вождения у них невысокое. Для оценки возможности применения этого типа систем было проведено исследование устойчивости методом, разработанным профессором И. И. Кринецким. Расчет на устойчивость показал, что при пово-

рачивающем моменте более 240 кг·м и скорости 1,75 м/сек в системе возникают автоколебания. Однако поворачивающий момент 240 и менее кг·м не обеспечивает вождения на поворотах. Например, при радиусе поворота 10 м и скорости движения 3 м/сек поворачивающий момент должен быть более 600 кг·м. Изменением выноса чувствительного элемента невозможно стабилизировать систему. Автоколебания в ней отсутствуют, если релейный элемент охвачен жесткой инерционной обратной связью.

Исследование качества регулирования нелинейной системы с зоной нечувствительности второго рода проведено с помощью частотного метода. При этом используется метод трапецидальных характеристик В. В. Солодовникова. Расчет переходного процесса скорректированной системы при поворачивающем моменте $M_B = 1200 \text{ кг} \cdot \text{м}$, зоне нечувствительности $\eta = 5 \text{ см}$, запаздывание $\tau = 0,35 \text{ сек}$, и скорости движения объекта 1,75 м/сек показывает, что время регулирования — около 2 сек, перерегулирование — около 30%.

Таким образом, введение жесткой инерционной обратной связи стабилизировало систему и обеспечило переходный процесс удовлетворительного качества.

Кроме релейных систем рационально применять широтно-импульсное управление механизмом поворота. В этом случае также можно использовать электрогидравлические усилители золотникового типа. Они просты, надежны в эксплуатации и выпускаются отечественной промышленностью.

Импульсные системы регулирования имеют целый ряд достоинств: мощность исполнительного двигателя используется полностью; импульсный элемент воздействуя на нелинейный элемент с симметричной характеристикой, устраняет его нелинейные свойства; высокая помехозащищенность; полупроводниковые приборы, работающие в импульсном режиме, намного надежнее. Применение широтно-импульсного управления механизмом поворота гусеничной машины дает возможность простыми путями добиться переменной интенсивности поворота в соответствии с требуемым законом регулирования.

Исследование широтно-импульсной системы показывает, что она устойчива при относительной длительности импульса $\gamma \ll 1$; увеличение выноса чувствительного элемента повышает запас устойчивости по фазе; увеличение запаздывания уменьшает запас устойчивости по фазе и при запаздывании большем, чем период повторения наблюдается резкое его уменьшение, т. е. период повторения импульсов должен быть больше, чем запаздывание в системе.

Для оценки качества регулирования широтно-импульсной системы использован метод, предложенный Я. З. Цыпкиным. Уравнение, описывающее процессы в замкнутой системе импульсного регулирования, использовано как рекуррентное соотношение для построения переходного процесса. Построение переходного процесса проведено табличным способом. При скачке 20 см переходный процесс характеризуется одним перерегулированием около 50% и временем регулирования менее 2 сек.

Исследование системы с пропорциональным регулятором показывает, что устойчивость ее зависит от запаздывания, коэффициента усиления, скорости движения и выноса катушек чувствительного элемента. Однако переходный процесс в непрерывной системе имеет значительное время регулирования (более трех—четырёх секунд). Таким образом, релейные и широтно-импульсные системы автоматического вождения гусеничных машин с жесткой инерционной обратной связью могут служить основой для разработки рабочих схем.

В целях сокращения аналитических расчетов, проверки теоретических выводов и уточнения структурной схемы были исследованы системы автоматического вождения на электронно-вычислительной машине непрерывного действия МНБ-1. Проводилось исследование путем подачи возмущения типа скачка в замкнутую систему автоматического регулирования. Величина его равнялась отклонению от траектории на 20—30 см. По кривой переходного процесса определялись: величина перерегулирования, время регулирования, число переходов через положение равновесия. Качество регулирования оценивалось в соответствии с требованиями к системе автоматического вождения: по минимуму величины перерегулирования, минимуму времени регулирования и наименьшему числу переходов через положение равновесия (объект на заданной траектории). Учитывая, что для надежной работы механизма поворота большое значение имеет число его включений, качество системы оценивалось и по числу управляющих воздействий за время переходного процесса.

При моделировании принято, что:

1. Зона нечувствительности системы $\eta = \pm 5$ см. Величина ее выбрана с таким расчетом, чтобы при наклонах объекта, вибрациях катушек чувствительных элементов и других нестабильностях механизмы поворота не срабатывали, когда машина находится на заданной траектории.

2. Величина поворачивающего момента $M_B = 1200$ кг·м.

3. Величина запаздывания 0,35 сек.

4. Частота следования импульсов при широтно-импульсной модуляции — порядка 3 гц. Частота следования импульсов от-

раничена: сверху — временем срабатывания механизма поворота и снизу — теоремой Котельникова, по которой частота должна быть хотя бы в два раза выше, чем максимальная частота спектра непрерывной функции.

5. Коэффициент усиления чувствительного элемента выбран так, чтобы при отклонении гусеничной машины от заданной траектории на 25—30 см ширина импульсов на выходе импульсного элемента была равна периоду повторения. Результаты моделирования весьма близко совпали с расчетными. Например, для нескорректированной релейной системы амплитуда и частота автоколебаний по расчету $A=0,49$ м, $\omega_0=0,32$ гц, а на модели $A=0,54$ м и $\omega_0=0,28$ гц.

Введение жесткой инерционной обратной связи, охватывающей релейный или импульсный элемент и усилитель сигнала ошибки, резко улучшает качество регулирования, но изменением параметров системы уменьшить перерегулирование не удается. Для улучшения качества вождения было исследовано влияние последовательного инерционного звена на систему, охваченную внутренней жесткой инерционной связью. При оптимальных параметрах корректирующих контуров, скорости движения 1,75 м/сек и $M_{\nu}=1200$ кг·м переходный процесс не имеет перерегулирования, а время регулирования составляет 1,1—1,3 сек. Оптимальное значение выноса катушек чувствительного элемента для релейной и широтно-импульсной системы — 2—2,5 м. Эти данные совпадают с расчетными. При скорости свыше 3 м/сек — перерегулирование системы порядка 8—10 см и увеличивается время регулирования. Однако изменением параметров корректирующих контуров можно добиться требуемого качества вождения. Из сравнения переходных характеристик релейной и широтно-импульсной систем с корректирующими контурами следует, что при скоростях до 3-х м/сек качество переходного процесса обеих систем в основном равноценно. Но в широтно-импульсной системе число управляющих воздействий, необходимых для отработки заданного возмущения, почти в два раза меньше, чем в релейной. Поэтому для автоматического вождения гусеничных машин рационально применять широтно-импульсную систему автоматического вождения с последовательным инерционным корректирующим контуром и внутренней жесткой инерционной обратной связью, охватывающей импульсный и усилительный элементы.

IV

В четвертой главе описан рекомендуемый комплекс аппаратуры для автоматизации вождения мобильных объектов на тре-

ках с препятствиями при ускоренных полигонных испытаниях и приведены результаты его испытаний.

Разработанный комплекс аппаратуры обеспечивает:

1. Автоматическое вождение разных марок машин без изменения их конструкции.

2. Остановку и пуск объектов на расстоянии, автоматическую остановку машин при отклонении от заданной траектории на расстояние более двух метров, при отсутствии давления в системах смазки двигателя и гидропривода, при отсутствии электропитания, при температуре в системе охлаждения двигателя свыше 90° .

3. Резервирование системы остановки мобильных объектов в случае отклонения их на расстояние более 5—6 м от заданной траектории.

4. Полуавтоматическое управление несколькими объектами на треке.

5. Автоматическую остановку машины, когда она приближается к идущему впереди объекту на расстояние менее 5—8 м.

6. Автоматическое и дистанционное управление гусеничными машинами в режиме крутых поворотов.

Траектория движения мобильных объектов задается магнитным полем, создаваемым переменным током (1000—5000 гц), который протекает по кабелю, проложенному на глубине 0,5 м.

Чувствительный элемент собран по амплитудно-фазовой схеме. Преобразование непрерывных сигналов в широтно-импульсные производится с помощью управляемого фантасона. Частота следования импульсов 3 гц. В качестве усилителя мощности использованы электрогидравлические золотниковые усилители ГА-46. Силовые цилиндры воздействуют непосредственно на рычаги управления.

Резервирование канала пуска объекта и автоматическая остановка машин, когда они приближаются друг к другу на расстояние менее 5—8 м, осуществлены одним комплексом приборов. Аппаратура для автоматического вождения была испытана на полигоне Одесской научно-исследовательской испытательной станции НАТИ в 1963—1966 гг., на специальном треке Московского автомобильного завода им. Лихачева в ноябре 1964 года и на прочностном треке типа «шашка» в январе 1965 года.

Основными целями испытаний были: определить качество вождения объектов, надежность аппаратуры, основные характеристики блоков управления и проверить возможность использования разработанной системы вождения для разных марок машин. Кроме того, ставилась задача проверить удобство эксплуатации приборов, отработать методику настройки системы вождения.

дения и дать оценку конструкции блоков. Для оценки качества вождения определялись переходные характеристики системы, точность вождения и количество команд на контрольных участках. В процессе испытаний шлейфовый осциллограф фиксировал отклонения передней точки машины от заданной траектории, токи в соленоидах электрогидравлического сервопривода и время. Для определения переходной характеристики объект устанавливали параллельно заданной траектории, на расстоянии 20—30 см. Автомат вождения включался после прохождения машиной 4—5 м пути. Таким образом, шлейфовый осциллограф фиксировал переходную характеристику системы при возмущении в виде единичного скачка.

Надежность аппаратуры оценивали по средней наработке на отказ, среднему времени восстановления и коэффициенту готовности аппаратуры. Она считалась пригодной для управления другими машинами, если при установке ее на машине другой марки удовлетворительное качество вождения достигалось только путем внешних регулировок.

ВЫВОДЫ

1. Ускоренные полигонные испытания широко применяются при разработке, доводке и оценке конструкции самоходных машин. Внедрение метода ускоренных полигонных испытаний затруднено тяжелыми условиями труда водителей.

Анализ работы водителей с помощью методов инженерной психологии, а также опыт ускоренных полигонных испытаний показывает:

а) при повышении скорости до 10 и более км/час применяемые системы дистанционного управления гусеничными машинами не обеспечивают требуемого качества вождения в силу ограниченности физиологических возможностей человека;

б) дистанционное управление двумя и более объектами невозможно из-за большого потока информации;

в) решить вышеперечисленные вопросы можно путем внедрения автоматического вождения испытуемых машин на треках.

2. Выведена передаточная функция гусеничной машины как

объекта управления, входом которой является поворачивающий момент. На основании теоретического и экспериментального исследований установлено, что гусеничная машина с электрогидравлическим сервоприводом механизмов управления при движении по булыжному треку аппроксимируется инерционным и интегрирующим звеном с запаздыванием.

При переезде металлических препятствий с постоянной скоростью величина коэффициента усиления K гусеничного трактора изменяется в пределах $(1 \div 1,5) K_0$, где K_0 — значение коэффициента для булыжной дороги. Постоянная времени T и коэффициент K возрастают с увеличением скорости движения.

3. Исследование системы автоматического вождения гусеничной машины с релейным регулятором без корректирующих устройств показывает, что при поворачивающем моменте более $240 \text{ кг}\cdot\text{м}$ и скорости $1,75 \text{ м/сек}$ в системе возникают автоколебания. При увеличении запаздывания понижается их частота и возрастает амплитуда.

Увеличение выноса чувствительного элемента относительно центра тяжести вдоль продольной оси гусеничной машины повышает частоту автоколебаний. Оптимальное значение выноса связано со скоростью движения машин. Оно обеспечивается при условии, когда отношение величины выноса чувствительного элемента к скорости находится в пределах $1 \div 1,5$. В системе автоматического вождения гусеничного трактора ДТ-75 с релейным регулятором без корректирующих устройств устанавливаются автоколебания с амплитудой $0,5 \text{ м}$ и частотой $0,32 \text{ гц}$.

При введении жесткой инерционной обратной связи автоколебания в системе отсутствуют. Расчет качества регулирования показывает, что при поворачивающем моменте $1200 \text{ кг}\cdot\text{м}$ время регулирования — менее 2 сек , переходный процесс идет с одним переходом через положение равновесия и перерегулированием $30—50\%$.

4. Анализ системы автоматического вождения гусеничной машины с широтно-импульсным регулятором позволяет сделать заключение, что если относительная длительность импульсов значительно меньше единицы, система устойчива; если же она близка к единице, возникают автоколебания.

В широтно-импульсной системе автоматического вождения импульсный элемент которой охвачен жесткой инерционной обратной связью, автоколебания отсутствуют. Качество переходного процесса характеризуется временем регулирования не более 2 сек , одним переходом через положение равновесия и перерегулированием около 60% .

5. Анализ линейной непрерывной системы показывает, что вынос чувствительного элемента расширяет область устойчивости. Для данного постоянного запаздывания существует оптимальное значение выноса, связанное со скоростью движения так, что их отношение равно 1,2—1,5. Переходный процесс линейной системы без корректирующих устройств характеризуется большим временем регулирования, значительной колебательностью и стопроцентным перерегулированием.

Введение жесткой инерционной обратной связи улучшает качество регулирования, однако время его превышает 4—5 сек.

6. Введение последовательного инерционного звена и жесткой инерционной обратной связи обеспечивает апериодический переходный процесс, время регулирования которого 1,1—1,5 сек. Качество регулирования в широтно-импульсной и релейной системах с корректирующими устройствами существенно не отличаются.

Преимущество широтно-импульсной системы — значительно меньшее число управляющих воздействий, необходимых для отработки заданного рассогласования.

7. Разработана методика и аппаратура для снятия переходных характеристик гусеничных машин.

8. На основании теоретического исследования разработаны широтно-импульсная система для автоматического вождения гусеничных машин разных марок по заданной траектории и комплекс аппаратуры, обеспечивающей его безопасность.

На базе разработанной структурной схемы создана система для автоматического вождения колесных машин при скоростях до 20—25 км/час.

9. Рекомендуемый комплекс аппаратуры проверен на тракторах ДТ-75, Т-74, ДТ-54, К-700, МТЗ-50 и автомобилях ЗИЛ-130, УРАЛ-375 при движении по трекам Одесской НИИС НАТИ, Московского автозавода им. Лихачева и по дороге типа «шашка».

Испытания показали, что качество вождения удовлетворяет требованиям к вождению объектов на треках с искусственными препятствиями. По результатам испытаний принято решение внедрить разработанный комплекс аппаратуры на Одесской НИИС НАТИ и Московском заводе им. Лихачева.

Основные результаты работы доложены на семинаре по вопросам дальнейшего совершенствования методов испытаний сельскохозяйственной техники в г. Москве (январь 1963 г.), на семинаре по использованию аппаратуры для испытаний и исследований тракторов в г. Одессе (май 1963 г.), на семинаре «Приборы и стенды для испытания машин и узлов» в г. Москве (апрель 1965 г.), на Одесском городском семинаре по технической кибернетике (февраль 1966 г.) и опубликованы в следующих работах.

1. А. И. Драновский, В. Г. Нейченко, Ю. З. Кисельгоф. «Управление тракторами при ускоренных полигонных испытаниях». В сборнике «Ускоренные испытания прочности и надежности тракторов». Труды, выпуск 168. ОНТИ НАТИ, 1964.

2. А. И. Драновский. «Автоматическое управление транспортными машинами на полигоне». В сборнике «Приборы и стенды для испытания машин и узлов». Изд. МДНТП им. Дзержинского. Москва, 1965.

3. А. И. Драновский. «Автоматизация управления тракторами при ускоренных полигонных испытаниях». «Тракторы и сельхозмашины» № 3. 1966.

4. А. И. Драновский. «Блок рассогласования для автоматического вождения гусеничных машин». Авторское свидетельство № 167080 13.06.63. Бюллетень изобретений № 24, 1964.

5. А. И. Драновский, В. Г. Нейченко, А. Г. Гехтман. «Система автоматического управления самоходными агрегатами при полигонных испытаниях в режиме крутых поворотов». Авторское свидетельство № 173500 18.04.64. Бюллетень изобретений № 15, 1965.