

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья
УДК 631.37
<https://agroconf.sgau.ru>

Возможности автоматизации перспективного трактора завода «Алтайлесмаш»

Ю.А. Коцарь, О.В. Кабанов

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

Аннотация. В статье рассматривается концепция интеллектуальной системы управления перспективным гусеничным трактором с гидростатической трансмиссией (ГСТ) завода «Алтайлесмаш». Представлены ключевые компоненты системы, принципы управления движением, функциональные возможности и перспективы интеграции с сельскохозяйственными орудиями. Показаны преимущества внедрения таких систем для повышения эффективности сельскохозяйственных операций.

Ключевые слова: гусеничный трактор, гидростатическая трансмиссия, интеллектуальная система управления, точное земледелие, автопилотирование, дифференциальное управление

Для цитирования: Коцарь Ю.А., Кабанов О.В. Возможности автоматизации перспективного трактора завода «Алтайлесмаш» // Аграрные конференции. 2026. № 56(2). С. 14-21. <http://agroconf.sgau.ru>

TECHNICAL SCIENCES

Original article

Possibilities of automation of a promising tractor of the Altaylesmash plant

Yu.A. Kotsar, O.V. Kabanov

Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering
named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Abstract. The article discusses the concept of an intelligent control system for a tracked tractor with a hydrostatic transmission (HST). The key components of the system, principles of motion control, functionality and prospects for integration with agricultural implements are presented. The advantages of implementing such systems to improve the efficiency of agricultural operations are demonstrated.

Keywords: tracked tractor, hydrostatic transmission, intelligent control system, precision farming, autopiloting, differential control

For citation: Kotsar Yu.A., Kabanov O.V. Possibilities of automation of a promising tractor of the Altaylesmash plant // Agrarian Conferences, 2026; (56(2)): 14-21 (InRuss.). <http://agroconf.sgau.ru>

Введение. Современное сельскохозяйственное машиностроение активно внедряет интеллектуальные технологии для повышения точности выполнения работ, снижения влияния человеческого фактора и оптимизации расхода ресурсов. Одним из перспективных направлений является разработка интеллектуальных систем управления для гусеничных тракторов с гидростатической трансмиссией.

Такая система представляет собой сложную инженерную задачу, но её реализация вполне возможна. Проект объединяет последние научные разработки в области точного вождения и промышленные решения для автопилотирования.

Цель данной работы – представить комплексную концепцию интеллектуальной системы управления, описать её ключевые компоненты и принципы работы, а также показать преимущества внедрения подобных систем в сельскохозяйственное производство.

Методика исследований. Перспективный трактор завода «Алтайлесмаш» в настоящее время проходит заводские испытания. Его трансмиссия выполнена с использованием объемного гидропривода – гидростатическая трансмиссия (ГСТ). Её использование существенно расширяет возможности автоматизации сельскохозяйственных операций. Также предлагается интегрировать в систему управления ГСТ трактора телеметрическую систему ТС-2, разработанную в Вавиловском университете, в результате чего трактор получит возможность выполнять сельскохозяйственные операции на новом уровне.

Ключевые компоненты системы. Интеллектуальная система управления гусеничным трактором состоит из нескольких взаимосвязанных подсистем.

1. Система технического зрения и позиционирования

Эта подсистема формирует «чувственное восприятие» трактора. В её состав входят:

- **Камеры машинного зрения** (разрешение от 5 Мп, угол обзора 90–120° для фронтальных камер и до 180° для панорамных). Функции: обнаружение препятствий, распознавание границ поля, отслеживание положения сельскохозяйственных орудий.
- **Лидары.** Точность до 2–3 см на расстоянии до 50 м. Применение: построение 3D-модели поля, точное измерение расстояний до объектов.
- **Радары миллиметрового диапазона** (дальность обнаружения 10–100 м). Преимущества: стабильная работа в тумане, пыли, дожде и снегопаде.
- **GNSS-приёмники с RTK-коррекцией** (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo). Точность позиционирования: 2–5 см. Назначение: точное следование заданной траектории.

- **Инерциальные измерительные модули (IMU).** Функции: определение ориентации трактора (крен, тангаж, рыскание), расчёт траектории при потере спутникового сигнала.
- **Датчики положения орудия** (угловые энкодеры, линейные датчики перемещения). Данные: угол наклона, глубина обработки, положение секций сеялки/опрыскивателя.
- **Блок слияния данных.** Алгоритмы: фильтр Калмана, байесовские сети. Задача: объединение данных от всех датчиков в единую картину окружающего пространства.

Таблица 1– Характеристики датчиков системы технического зрения и позиционирования

Датчик	Диапазон измерений	Точность	Применение
Камеры машинного зрения	0–50 м	5–10 см	Распознавание препятствий, границ поля
Лидары	0–50 м	2–3 см	Построение 3D-модели, точное позиционирование
Радары	10–100 м	10–30 см	Обнаружение препятствий в плохих погодных условиях
GNSS с RTK	Глобальный	2–5 см	Точное позиционирование на поле
IMU	±90°	0,1–0,5°	Определение ориентации, навигация при потере GNSS

2. Управляющая электроника и гидравлика. Подсистема преобразует цифровые команды в физические действия. Её компоненты:

- **Центральный контроллер (бортовой компьютер).** Процессор: многоядерный ARM или x86 с тактовой частотой от 1,5 ГГц. ОС: Linux RT или специализированная ОС для промышленной автоматике.
- **Контроллеры управления ГСТ.** Назначение: управление гидронасосами и гидромоторами трансмиссии. Алгоритмы: ПИД-регулирование, адаптивное управление.
- **Электрогидравлические клапаны** (пропорциональные клапаны с электрическим управлением).
- **Датчики обратной связи:** датчики давления, энкодеры скорости, потенциометры положения клапанов, температурные датчики.
- **Шина обмена данными (CAN или EtherCAT).** Скорость передачи: от 500 кбит/с (CAN) до 100 Мбит/с (EtherCAT).
- **Интерфейс оператора** (сенсорный дисплей, джойстик/руль управления, кнопки аварийной остановки). Отображение: карта поля, траектория движения, статус систем.
- **Система диагностики и самоконтроля.** Функции: мониторинг работоспособности датчиков и исполнительных механизмов, логирование параметров работы.

Гусеничный трактор поворачивает за счёт создания разности скоростей левой и правой гусениц. В системе с ГСТ это достигается путём независимого регулирования подачи рабочей жидкости к гидромоторам каждой гусеницы.

Математически это можно описать так.

Пусть:

v_L – скорость левой гусеницы, м/с;

v_R – скорость правой гусеницы, м/с;

v – результирующая скорость трактора, м/с;

W – ширина колеи трактора (расстояние между центрами гусениц), м.

ω – угловая скорость поворота, рад/с.

Тогда:

$$\begin{cases} v = \frac{v_L + v_R}{2} \\ \omega = \frac{v_R - v_L}{W} \end{cases}$$

Система управления рассчитывает необходимые значения и для следования заданной траектории.

Режимы поворота

1) Плавный поворот: небольшая разница скоростей гусениц ($v_L \approx v_R$, но $v_L \neq v_R$). Радиус поворота R :

$$R = \frac{W}{2} \cdot \frac{v_L + v_R}{v_R - v_L}$$

2) Крутой поворот: значительная разница скоростей ($v_L \gg v_R$ или $v_L \ll v_R$).

3) Разворот на месте: $v_L = -v_R$. Радиус поворота $R = 0$.

3. Алгоритмы управления (контроллеры). Для реализации точного управления используются различные типы контроллеров:

- ПИД регуляторы (пропорционально интегрально- дифференциальные). Классическое решение для стабилизации скорости гусениц и поддержания заданной траектории. Простота настройки и надёжность делают их популярным выбором.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$u(t)$ – управляющий сигнал на гидронасос;

$e(t)$ – ошибка отклонения от заданной траектории;

K_p, K_i, K_d – настраиваемые коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

- Нечёткие регуляторы. Эффективны в условиях неопределённости (неровности поля, изменение сцепления с грунтом). Позволяют реализовать управление по правилам, близким к интуитивным.

- Адаптивные контроллеры. Автоматически подстраивают свои параметры под текущие условия работы (нагрузка, состояние почвы). Повышают стабильность и точность управления.

Методы адаптации включают в себя самонастраивающиеся системы (корректировка коэффициентов ПИД регулятора); модели с эталонной моделью (сравнение текущей динамики с идеальной моделью); адаптивные системы с идентификацией параметров.

- **Модельные предсказательные контроллеры (MPC).** Оптимизируют траекторию движения на несколько шагов вперёд, учитывая ограничения системы и внешние возмущения. Требуют больших вычислительных ресурсов, но дают наилучшие результаты.

Алгоритм их работы сводится к построению математической модели динамики трактора; прогнозированию поведения системы на горизонте предсказания; оптимизации управляющих воздействий (с учётом ограничений по скорости гусениц, допустимого радиуса поворота, минимизации расхода топлива, требований к точности следования траектории); реализации первого шага оптимальной последовательности; сдвига горизонта предсказания и повторение цикла.

- **Гибридные системы управления.** Комбинируют несколько типов контроллеров для разных режимов работы:

- 1) ПИД регулятор – для прямолинейного движения по ровной поверхности;
- 2) нечёткий регулятор – при работе на неровном поле;
- 3) MPC – для сложных манёвров (развороты, объезд препятствий);
- 4) адаптивный контроллер – при изменении условий (уклон, влажность почвы).

Работа системы управления реализуется в виде повторяющегося цикла (типичная частота – 50–100 Гц):

- 1) Сбор данных: получение информации от GNSS, IMU, датчиков ГСТ; анализ данных технического зрения (препятствия, границы поля).

- 2) Планирование траектории: построение оптимального пути с учётом карты поля и текущих задач; учёт ограничений по радиусу поворота и скорости.

- 3) Расчёт управляющих воздействий: определение необходимых скоростей и для каждой гусеницы; применение выбранного алгоритма управления (ПИД, MPC и т.д.).

- 4) Исполнение команд: передача сигналов на контроллеры ГСТ; активация электрогидравлических клапанов.

- 5) Обратная связь: считывание данных с датчиков обратной связи (скорость гусениц, давление в гидросистеме); корректировка управляющих воздействий при отклонении от плана.

Критерии оптимизации управления могут являться точность следования траектории (допуск $\pm 2-5$ см), минимизация расхода топлива, плавность движения (ограничение ускорений и рывков), безопасность (своевременное обнаружение и объезд препятствий), энергоэффективность работы ГСТ и др.

Такой комплексный подход к управлению движением позволяет гусеничному трактору с ГСТ выполнять сельскохозяйственные операции с высокой точностью, надёжностью и эффективностью, минимизируя влияние человеческого фактора и оптимизируя использование ресурсов.

4. Функциональные возможности. Интеллектуальная система предоставляет трактору расширенные возможности.

3.1. Подруливание.

Режим «подруливания» помогает оператору точнее следовать заданной траектории, корректируя его действия:

- 1) Система отслеживает отклонение трактора от заданной линии (например, при обработке междурядий).
- 2) При превышении допустимого отклонения автоматически подаёт корректирующие команды на ГСТ.
- 3) Оператор сохраняет полный контроль над машиной, но получает помощь в поддержании точности.

При этом выявляются следующие преимущества: снижается утомляемость оператора; повышается точность обработки (до 95–98 % времени движения по заданной линии); уменьшаются перекрытия и пропуски, например, при внесении удобрений или опрыскивании.

3.2. Автопилотирование.

Полный автопилот позволяет трактору выполнять задачи без участия оператора:

- 1) Построение маршрута на основе GNSS данных и карт поля.
- 2) Следование по маршруту с точностью до нескольких сантиметров.
- 3) Автоматическое выполнение разворотов в конце гонов.
- 4) Обнаружение и объезд препятствий (деревья, камни, другие машины).

Координация работы с навесным оборудованием (автоматическое поднятие/опускание сеялки, регулировка нормы внесения).

Сценарии использования при этом могут включать: ночную работу без снижения качества; обработку опасных участков (крутые склоны, заболоченные места); выполнение рутинных операций (вспашка, культивация) без участия человека.

Результаты исследований. Следующий этап развития – глубокая интеграция системы управления трактором с управляемыми сельскохозяйственными орудиями. Это создаёт единую интеллектуальную агротехническую систему.

Ключевые направления интеграции:

- 1) Автоматическое управление навеской. Трактор регулирует высоту и угол наклона орудия в зависимости от рельефа поля и типа операции.
- 2) Координация скорости и глубины обработки. Скорость трактора синхронизируется с работой орудия (например, сеялки) для обеспечения заданной нормы высева.
- 3) Обратная связь от датчиков орудия. Датчики влажности, плотности почвы или состояния растений передают данные в систему управления трактором, которая корректирует режим работы.
- 4) Оптимизация энергопотребления. Система выбирает оптимальный режим работы ГСТ и орудия для минимизации расхода топлива при сохранении качества обработки.

Пример реализации:

При работе с сеялкой система→

- Получает карту поля с указанием норм высева для разных зон.

- Корректирует скорость трактора для поддержания заданной нормы.
- Регулирует давление сошников на почву в зависимости от её плотности.
- Автоматически отключает секции сеялки на перекрытиях.
- Фиксирует фактический высев и формирует отчёт.

Заключение. Предложенное описание компонентов автоматизации управления трактором на данном этапе исследований носит обзорный или рекомендательный характер в зависимости от конкретных задач и показывает возможный вектор развития с последующим достижением результатов. Создание интеллектуальной системы управления для гусеничного трактора с ГСТ – это комплексный проект, требующий интеграции передовых технологий: высокоточного позиционирования, машинного зрения, адаптивных алгоритмов управления, надёжной гидравлики.

Реализация такой системы даёт значительные преимущества: повышение точности сельскохозяйственных операций до 2–5 см; снижение расхода топлива на 10–15 %; уменьшение влияния человеческого фактора; возможность круглосуточной работы; сбор данных для точного земледелия.

Перспективы развития связаны с углублением интеграции трактора и орудия, внедрением элементов искусственного интеллекта для прогнозирования и адаптации к условиям поля, а также с созданием сетей автономных машин для совместной работы. Это открывает новые возможности в сельскохозяйственном машиностроении, делая производство более эффективным, экологичным и устойчивым.

Список литературы

1. Галлиулин, И.Г. Система автономного управления движением машинно-тракторного агрегата с использованием отечественной элементной базы. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН №6(110) 2022.
2. Валиев А. Р., Бинело М., Зиганшин Б. Г., Сабиров Р. Ф., Шафигуллин Г. Т., Галиуллин И. Г. Беспилотный трактор // Вестник НЦБЖД. 2021. № 4(50). С. 69-75.
3. Трансмиссия применяемая на бульдозерах - [Электронный ресурс].–URL: <http://novosibdiesel.ru/produkcija/buldozery/tm10-transmissija-i-dvigatel/>
4. Гидростатическая трансмиссия - [Электронный ресурс].–URL: <http://kemkran-dst.ru/dst/gst.php>
5. Шутов, В. М. Сравнительный анализ систем трансмиссии тракторов: механическая, гидростатическая, вариаторная / В. М. Шутов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 34 (585). — С. 33-36. — URL: <https://moluch.ru/archive/585/128154>.
6. Лебедев Г. А., Коровин Г.С., Федотов М.В. Автоматизация тяговых машин в сельскохозяйственной отрасли: экономические перспективы реализации // ВЕССОР. - 2024. - №1.
7. Федоренко В.Ф., Воронков И.В. Экспериментальные исследования элементов систем точного земледелия в Краснодарском крае // Техника и оборудование для села. 2015. № 12. С. 12-16.

8. Гидростатическая трансмиссия для бульдозеров – [Электронный ресурс].–URL: <http://konstruktor.net/podrobnee-hidr/id-70-tonnyj-buldozer-s-gidrostaticheskoy-transmissiej-1428.html>

References

1. Galliulin, I.G. The system of autonomous motion control of a machine-tractor unit using a domestic element base. //Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences No. 6(110) 2022.

2. Valiev A. R., Binelo M., Ziganshin B. G., Sabirov R. F., Shafigullin G. T., Galiullin I. G. Unmanned tractor // Bulletin of the National Library of Railways. 2021. No. 4(50). pp. 69-75.

3. Transmission used on bulldozers - [Electronic resource].–URL: <http://novosibdiesel.ru/produkcija/buldozery/tm10-transmissija-i-dvigatel/>

4. Hydrostatic transmission - [Electronic resource].–URL: <http://kemkrandst.ru/dst/gst.php>

5. Shutov, V. M. Comparative analysis of tractor transmission systems: mechanical, hydrostatic, variator / V. M. Shutov. — Text : direct // Young scientist. — 2025. — № 34 (585). — Pp. 33-36. — URL: <https://moluch.ru/archive/585/128154>

7. Lebedev G. A., Korovin G.S., Fedotov M.V. Automation of traction machines in the agricultural sector: economic prospects for implementation // BECSOR. - 2024. - No. 1.

8. Fedorenko V.F., Voronkov I.V. Experimental studies of elements of precision farming systems in the Krasnodar Territory // Machinery and equipment for rural areas. 2015. No. 12. pp. 12-16.

9. Hydrostatic transmission for bulldozers – [Electronic resource]. URL: <http://konstruktor.net/podrobnee-hidr/id-70-tonnyj-buldozer-s-gidrostaticheskoy-transmissiej-1428.html>

Статья поступила в редакцию 26.02.2026; одобрена после рецензирования 30.03.2026; принята к публикации 14.04.2026.

The article was submitted 26.02.2026; approved after reviewing 30.03.2026; accepted for publication 14.04.2026.