



СЪЕМНЫЕ ТРЕУГОЛЬНЫЕ ГУСЕНИЧНЫЕ МОДУЛИ НА КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРАХ: СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ

В статье проведен систематический анализ применения съемных треугольных гусеничных модулей на сельскохозяйственных и промышленных тракторах. Приведены существующие модели таких тракторов и выявлены тенденции их дальнейшего развития, в том числе в отечественном тракторостроении. В качестве материалов использовались публикации научных статей, обзоров и авторефератов на исследуемую тематику и представленные в научных электронных библиотеках. Также использовались данные производителей сельскохозяйственных и промышленных тракторов, размещенные в открытом доступе. На основании проведенного анализа определены критерии целесообразного применения треугольных гусеничных модулей на тракторах и направления дальнейшего совершенствования их конструкции.

Трактор, треугольный гусеничный модуль, гусеничный движитель, колесный движитель, съемные гусеницы.

Движитель играет ключевую роль для транспортного средства в формировании многих его эксплуатационных свойств, таких как проходимость, маневренность и т.п. Среди тракторов наиболее распространенным типом движителя является колесный. К основным преимуществам тракторов с колесным движителем можно отнести высокие транспортные скорости движения, высокую степень мобильности, более простую конструкцию трансмиссии и ходовой части. Однако существенным их недостатком является высокое давление одиночных колес на опорную поверхность [8]. Уплотнение почвы, которое считается одной из основных причин деградации сельскохозяйственных почв, приводит к снижению урожайности, увеличению эрозии почвы и повышению расхода топлива из-за высокого сопротивления качению шин [6]. Для снижения давления имеет место установка спаренных колес, однако это негативно влияет на ресурс ступичного узла колесного трактора. Для условий, требующих минимизации давления на опорную поверхность применяются тракторы с гусеничным движителем. Они обеспечивают высокую проходимость, развивают большие тяговые усилия и более высокие средние скорости движения, оказывают малое уплотняющее воздействие на грунт, что делает их более экологически совместимыми в системе «машина – местность» [7]. Помимо колесного и гусеничного движителей существуют и комбинированные, использующие достоинства каждого из этих типов. Например, полугусеничный дви-

житель использует гусеничный ход на задней ведущей оси и управляемые колеса на передней оси. «Alvin O. Lombard Traction Company» в 1900 году применили такую конструкцию при производстве парового лесовоза «Lombard». Особой популярностью среди данного типа движителей обладают съемные треугольные гусеничные модули, позволяющие установить колесный или гусеничный движитель в зависимости от условий. Такие съемные модули получили распространение среди колесных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой (4К46), т.к. последние, благодаря особому способу поворота, позволяют установить гусеничные движители на обе оси. Треугольные гусеничные модули повышают гибкость обычных тракторов, поскольку их можно устанавливать на труднопроходимых почвах для улучшения проходимости транспортного средства по грунту [6].

В середине 60-х годов компания Caterpillar установила треугольные гусеничные модули на погрузчик Quad 988, однако в серийное производство данный экземпляр не поступил. Большим его недостатком были стальные гусеничные ленты. Первой моделью трактора с резиновыми гусеничными модулями, производство которого стало серийным, является Case IH Steiger Quadtrac 9370 (рис.). Прототип Quadtrac, показанный на выставке Farm Progress Show 1993 года, был первым трактором с новой ходовой частью, разработанной инженерами Steiger [3].



Рис. Case IH Steiger Quadtrac 9370 [3]

На данный момент опубликовано достаточное количество исследований, объектом которых являются колесные тракторы с гусеничными модулями в качестве движителя. Существуют исследования давления, оказываемого таким типом движителя на опорную поверхность, и сравнения его значения со значением давления от пневматических шин. Существуют исследования тягово-скоростных, мощностных и топливных характеристик тракторов с треугольными гусеничными модулями и сравнения с другими типами движителей. В разных исследованиях применяются разные материалы и методы: от аналитических расчетов и моделирования до экспериментов с измерениями. Таким образом, целесообразным является проведение систематического обзора исследований и литературы на данную тему для нахождения выводов, противоречий и выявления тенденций дальнейшего развития данного направления.

Модель трактора Case Steiger 580, являющегося преемником одного из первых серийных тракторов Case IH Steiger Quadtrac 9370, исследовалась в работе [4]. Целью исследования было определение величины давления на грунт, создаваемого колесной версией трактора и версией Quadtrac на треугольных гусеничных модулях в разных условиях эксплуатации. Исследование проводилось с помощью системы датчиков, регистрирующих распределение контактного давления трактора на опорную поверхность. В результате были получены минимальные, максимальные и средние значения контактного давления, а также 3D-отпечатки от движителей. Было заключено, что гусеничные модули являются лучшим выбором для минимизации уплотнения почвы благодаря их большому контакту с поверхностью и равномерному распределению давления. Однако это преимущество проявляется, в основном, на мягких и влажных почвах. Для твердой почвы или универсальных условий эксплуатации шины могут быть более экономичным и практичным вариантом.

Схожие выводы были сделаны в работе [1] при исследовании тяговых характеристик полноприводных тракторов с колесным и резиновым гусеничным движителями. Целью исследования было сравнение

тяговых характеристик тракторов с пневматическими шинами и с треугольными гусеничными модулями. Для исследования использовались датчики измерения крутящего момента и частоты вращения, расположенные на полуосях исследуемых тракторов; датчики частоты вращения коленчатого вала ДВС и датчики, регистрирующие, величину силы тяги на крюке. В результате трактор с резиновой гусеничной лентой продемонстрировал небольшие преимущества в тяговых характеристиках по сравнению с полноприводным колесным трактором на твердых поверхностях и более значительные преимущества на мягких поверхностях [1].

Аналогичные зависимости можно наблюдать в работе [6], где исследовались тракторы Case Puma 210 и New Holland T7060, оснащенные колесным и гусеничным движителями. Целью исследования было сравнение производительности тракторов с пневматическими шинами и с треугольными гусеничными модулями. Для исследования использовались датчики измерения тяговой нагрузки, расположенные на трехточечной сцепке и датчик измерения объемного расхода топлива. Для расчетов производительности использовались известные аналитические зависимости. При эквивалентной тяговой нагрузке пробуксовка колесного трактора была в три раза больше, чем у гусеничного. Сравнение крюковой мощности в двух конфигурациях показало разницу примерно на 20 % в пользу гусеничного трактора. Анализ удельного расхода топлива показал разницу в 20 % в пользу трактора с гусеничными модулями [6]. Соответственно, трактор, оборудованный треугольными гусеничными модулями, показал более высокую производительность.

Также интерес представляет исследование [5], т.к. в нем трактор New Holland T7060 с треугольными гусеничными модулями сравнивается не только с колесным трактором, но и с полугусеничным. Также в данном исследовании испытания проводились не только на грунте, но и на асфальте. Целью исследования было сравнение производительности сельскохозяйственных тракторов с разными конфигурациями движителей. Измерения тягового усилия производи-

лись с применением тензодатчика; буксование оценивалось с помощью измерения частоты вращения вала отбора мощности и фактической скорости движения трактора на определенном участке длины. Испытания показывали лучшую тяговую эффективность (отношение эффективной мощности к крутящей мощности) и меньшее уплотнение почвы у трактора с четырьмя резиновыми гусеничными модулями по сравнению с другими. Кроме того, было отмечено снижение тяговой эффективности с увеличением пробуксовки у трактора с полугусеничным двигателем в сравнении с полноприводным колесным трактором.

Особое внимание стоит уделить роли техники при работе в рисовых плантациях, наиболее распространенных в Азии. Несмотря на то, что климат основной части России не является благоприятным для выращивания риса, в таких регионах, как Краснодарский край, Ростовская область, Астраханская область, Ставропольский и Приморский край, все-таки рис выращивается. Для создания благоприятных условий для выращивания риса обрабатывается и подвергается заболачиванию верхний слой почвы (10–30 см). В то же время обработка почвы на одних и тех же полях из года в год создает прочный твердый слой под глубиной обработки. Этот твердый слой снижает потери воды и обеспечивает благоприятную среду для выращивания риса. На поверхностях, на которых отсутствует твердый слой или который недостаточно твердый, чтобы выдерживать транспортное средство, наблюдается увязание колесных тракторов. Эти условия требуют транспортных средств, которые могут работать с более низким давлением на грунт, используя гусеницы. Хотя гусеничный трактор можно использовать для подготовки болотистой земли, стоимость транспортировки трактора высока. Производительность полугусеничного трактора была отмечена как альтернатива обычным шинным тракторам для удовлетворения требований часто встречающихся, необычно влажных и мягких условий рисовых полей [2].

Таким образом, проведя анализ исследований на данную тематику, можно сделать вывод об определенных преимуществах использования съемных гусеничных модулей на колесных тракторах, которые были подтверждены разными исследованиями. К таким преимуществам относятся: гибкость использования трактора; установка пневматических колес или гусе-

ниц в разных условиях; простота транспортировки к месту работы в сравнении с гусеничными тракторами; меньшее давление на грунт в сравнении с колесными тракторами, что позволяет работать на мягких и влажных грунтах; большее тяговое усилие и производительность.

Анализируя лидеров отрасли тракторостроения, таких как Case, John Deere, New Holland и т.д., можно заключить, что все они применяют съемные треугольные гусеничные модули на разных моделях своих тракторов (табл.).

Среди отечественных производителей тракторов АО «Петербургский тракторный завод» (дочернее общество ОАО «Кировский завод») представил тракторы на съемных треугольных гусеничных модулях на выставке «Агросалон-2016» [9]. «Ростсельмаш» в 2021 тоже начал производство опытной партии тракторов на гусеничных модулях: RSM 3485 DT, RSM 3535 DT, RSM 3575 DT [10], однако в серийное производство данные модели, на момент написания, не поступили. Таким образом, прослеживается тенденция увеличения выпуска колесных тракторов с применением съемных треугольных гусеничных модулей.

Проведенный анализ показывает, что использование съемных треугольных гусеничных модулей на тракторах является перспективным направлением в сельскохозяйственном и промышленном машиностроении. Данные модули позволяют совмещать преимущества колесных и гусеничных двигателей, обеспечивая повышенную проходимость, снижение давления на почву и улучшенные тяговые характеристики.

Сравнительные исследования различных типов тракторов показывают, что гусеничные модули особенно эффективны на мягких и влажных грунтах, где традиционные колесные тракторы испытывают проблемы с пробуксовкой и уплотнением почвы. Однако в универсальных условиях эксплуатации колеса остаются более экономичным и практичным вариантом.

Анализ ведущих мировых производителей, таких как Case, John Deere, New Holland, а также отечественных компаний, свидетельствует о растущей тенденции к внедрению съемных гусеничных модулей в тракторостроении. Это подтверждается появлением новых моделей тракторов с гибкой конфигурацией двигателя.

Таблица

Примеры тракторов, использующих треугольные гусеничные модули

Производитель	Case		John Deere		New Holland	
Серия	Steiger	Magnum	9RX	8RX	T8 SmartTrax	T9 SmartTrax
Модель трактора	475					
	425			310		520
	525	355	490	340		580
	555	340	540	370	410	615
	595	385	590	410	435	655
	645	405	640			700
	715					

На данном этапе целесообразным является проведение исследований, направленных на определение влияния треугольных гусеничных модулей на шасси трактора с целью улучшения конструкции. Дальнейшие исследования могут включать анализ параметров поворота, проходимости и т.п. трактора на треугольных гусеничных модулях.

Таким образом, съемные гусеничные модули являются важным направлением развития сельскохозяйственной техники, способствуя повышению универсальности и эффективности тракторов в различных условиях эксплуатации.

Литература

1. Tractive Performance Comparisons Between A Rubber Belt Track And A Four-Wheel-Drive Tractor / Esch J. H., Bashford L. L., Von Bargen K., Ekstrom R. E. // Transactions of the ASAE. – 1990. – Vol 33, № 4. – P. 1109–1115. Doi:10.13031/2013.31446.
2. Khaehanchanpong, Y. Agricultural Mechanization in Thailand: Design and Development of Machinery Implements for Small-Scale Farmers: PhD thesis / Khaehanchanpong Y. – the University of Tsukuba, 2018. – 161 p.
3. Klancher, K. Quadtrac Development. A new machine / Klancher K. // Octane Press. – URL: <https://octanepress.com/content/quadtrac-development> (дата обращения: 25.02.2025). – Text : electronic.
4. Evaluation of soil-tire interface pressure distributions and areas resulting from various tire and track technologies and configurations / Md. Shaheb R., Klopfenstein A., Tietje R. [et al.]. – Doi: 10.13031/aim.202100889 // 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting (July 12-16, 2021). – Michigan : American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2021.
5. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks / Molari G., Bellentani L., Guarnieri A. [et al.]. – Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2011.10.008 // Biosystems Engineering. – 2012. – Vol 111, № 1. – P. 57–63.
6. Molari, G. Field performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks on a low trafficable soil / Molari G., Mattetti M., Walker M. – Doi: 10.4081/jae.2015.477 // Journal of Agricultural Engineering. 2015. Vol. 46, № 4. P. 162–166.
7. Волков, Ю. П. Транспортные гусеничные машины. Ходовая часть : учебное пособие / Ю. П. Волков, В. Е. Ролле, А. Д. Самойлов. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2009. – 267 с.
8. Мирошниченко, А. Н. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие / А. Н. Мирошниченко. – Томск : Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2014. – 490 с.
9. Новинки Завода на агросезон 2016–2017 // Кировец. – URL: https://kirovets-ptz.com/press/news/novinki-zavoda-na-agrosezon-2016-2017/?sphrase_id=741578 (дата обращения: 25.02.2025). – Текст : электронный.
10. Ростсельмаш начал выпуск тракторов DELTA TRACK // РОСТСЕЛЬМАШ. – URL: <https://rostselmash.com/media/news/rostselmash-nachal-vypusk-traktorov-delta-track/> (дата обращения: 25.02.2025). – Текст : электронный.

K.N. Serov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

REMOVABLE TRIANGLE CRAWLER TRACKS ON WHEELED TRACTORS: APPLICATION SYSTEMATIC REVIEW

The article presents a systematic review of the use of removable triangle crawler tracks on agricultural and industrial tractors. Models of such tractors are demonstrated and trends in their further development are identified, including in domestic tractor manufacturing. The materials used were publications of scientific articles, reviews and abstracts covering the topic under study and presented in scientific electronic libraries. Also, data from manufacturers of agricultural and industrial tractors, posted in the public domain, were used. Based on the conducted analysis, criteria for the appropriate use removable triangle crawler tracks on tractors and directions for further improvement of their design were determined.

Tractor, t triangle crawler tracks, track mover, wheel mover, removable tracks.