

**Съемная гусеничная ходовая система ведущего моста
сельскохозяйственного трактора класса 0,9**

**Отари Назирович Дидманидзе, Роман Сергеевич Федоткин,
Виталий Алексеевич Крючков, Никита Иванович Дегтярев**
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
e-mail: fedotkin@rgau-msha.ru

Аннотация. В статье затронуты проблемы повышения тягово-сцепных свойств и снижения уплотняющего воздействия на почву тракторной техники, ее неполной годовой загрузки и восполнения дефицита техники в отечественном тракторном парке. Указана возможность решения проблем путем установки съемных гусеничных ходовых систем вместо колес. Проанализирован опыт создания и применения ходовых систем для различной техники, включая опыт исследователей Дании, Швейцарии, Швеции, Норвегии и др. Представлена конструкция экспериментального образца гусеничных модулей для заднего моста трактора Беларус-622. Обеспечена возможность регулирования площади контактной поверхности гусениц. Получено снижение давления на почву до 60–65 кПа и до 40–50 кПа за счет установки гусеничных модулей, соответственно, на заднюю или обе оси трактора. Доказано, что разработанные модули обеспечивают повышение тягово-сцепных свойств и снижение уплотняющего воздействия трактора на почву. Обоснованы целесообразность разработки гусеничных модулей на передний мост и перспективы их создания для тракторов класса 1,4 с целью восполнения дефицита тракторов класса 2,0. Обозначены перспективы дальнейшей автоматизации процессов регулировки съемных гусеничных ходовых систем для адаптации к различным почвенно-климатическим условиям.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор; ведущий мост; съемная гусеничная ходовая система; движитель; резиноармированная гусеница; тягово-сцепные свойства; уплотняющее воздействие на почву.

Для цитирования: Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А., Дегтярев Н. И. Съемная гусеничная ходовая система ведущего моста сельскохозяйственного трактора класса 0,9 // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 142–148. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp142-148>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Removable tracked undercarriage system for driving axle
of agricultural tractor traction class 0,9**

Otary N. Didmanidze, Roman S. Fedotkin, Vitaliy A. Kryuchkov, Nikita I. Degtyarev
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Russia
e-mail: fedotkin@rgau-msha.ru

Abstract. The problems of increasing traction and coupling properties and reducing soil compaction of tractors, its incomplete annual load and the shortage in the domestic tractor fleet are noted in the article. The possibility of solving problems by installing removable tracked undercarriage systems instead of wheels is indicated. The experience of creating and using undercarriage systems for various vehicles was analyzed, including the experience of researchers from Denmark, Switzerland, Sweden, Norway, etc. The experimental structure of caterpillar modules for the rear axle of the Belarus-622 tractor is presented. The possibility of adjusting the area of tracks contact surface is provided. A decrease in pressure on the soil to 60–65 kilopascals and up to 40–50 kilopascals was obtained due to the installation of caterpillar modules, respectively, on the rear or both axles of the tractor. It is proved that the developed modules provide increasing in traction and coupling properties and decreasing in the soil compacting effect of the tractor. The expediency of developing caterpillar modules for the front axle and the prospects for their creation for traction class 1,4 tractors in order to make up for the shortage of class 2.0 tractors are substantiated. The prospects for further automation of adjusting processes of removable tracked undercarriage systems for adaptation to various soil and climatic conditions are outlined.

Keywords: agricultural tractor; driving axle; removable tracked undercarriage system; mover; rubber reinforced track; traction and coupling properties; soil compaction.

For citation: Didmanidze O. N., Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A., Degtyarev N. I. Removable tracked undercarriage system for driving axle of agricultural tractor traction class 0,9. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):142–148. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp142-148>.





Введение. При выполнении технологических операций в сельскохозяйственном производстве необходимо обеспечить высокие эксплуатационные показатели тракторов [1–3]. Ключевые из них – тягово-сцепные свойства и уплотняющее воздействие на почву (УВП). Причем важно не только снизить давление движителей на почву, растительный покров и корневую систему растений, но и минимизировать буксование и срыв плодородного слоя почвы [2, 3].

УВП движителей с.-х. техники негативно влияет на физико-химические и агробиологические свойства почвы [4]. Последствия такого воздействия усугубляются многократными проходами техники, а также изменяющимся тяговым сопротивлением со стороны навесных и прицепных машин, влияющим на касательную силу тяги трактора [5–7]. Это вызывает нарушение репродуктивных свойств почвы и приводит к недобору урожая [5, 6, 8]. Ввиду невозможности снижения веса энергонасыщенной самоходной техники единственно возможной мерой снижения УВП является увеличение площади опорной поверхности движителей и равномерное распределение веса по ней.

Гусеничная техника обладает безусловными преимуществами по сравнению с колесной. Однако при относительно высокой стоимости она используется в основном на энергозатратных работах по основной и предпосевной обработке почвы, особенно в условиях переувлажненных и слабонесущих почв. Кроме того, основным ограничением по применению отечественными сельхозтоваропроизводителями гусеничной техники, даже при оснащении ее резиноармированными гусеницами (РАГ), является запрет на выезд и передвижение по дорогам общего пользования. Колесную технику невозможно эксплуатировать на переувлажненных и слабонесущих почвах, в том числе в межсезонье и при обработке некоторых видов сельскохозяйственных культур. Результат – неполная годовая загрузка колесной и гусеничной техники. Содержание же в хозяйствах техники обоих видов не всегда рентабельно.

Для обеспечения загрузки трактора и повышения его эксплуатационных свойств устанавливают подкатные ведущие мосты или съемные гусеничные ходовые системы (СГХС). Последние представляют собой гусеничные модули, устанавливаемые вместо колес [4, 9, 10]. В отличие от подкатных мостов, переход на СГХС не требует переделки конструкции трактора.

Актуальность исследований и разработок СГХС обоснована также общим дефицитом тракторов в отечественном парке техники. Для тракторов классов 0,6–8,0 в целом дефицит составляет 51,3 %, или около 223,5 тыс. ед. [1, 3, 11]. При этом множество имеющихся в парке тракторов устарели и давно выработали свой ресурс. Производство тракторов отдельных классов в РФ полностью отсутствует, а потребность компенсируется за счет импорта [1].

Проблема восстановления отечественного тракторного парка в значительной степени может быть решена созданием тракторов переменных тяговых классов в результате установки СГХС вместо ведущих колес.

Наиболее наглядно преимущества гусеничной техники демонстрируются на примере трактора *Claas Challenger 2-65E* с РАГ общей массой около 19 т при работе на вспашке в агрегате с 12-корпусным плугом. Создаваемые агрегатом напряжения в почве оказались значительно меньше по сравнению с колесным трактором общей массой около 10 т в агрегате с 7-корпусным плугом. При правильной балансировке гусеничный трактор, имея большую массу и тяговое сопротивление, оказывает меньшее УВП на вспашке [6].

Для обеспечения колесной техники преимуществами гусеничной достаточно установить СГХС вместо колес. Многие расчетно-теоретические и экспериментальные исследования отечественных и зарубежных авторов подтверждают факт повышения тягово-сцепных свойств самоходной с.-х. техники и снижения ее УВП после установки СГХС [4, 10, 12, 13]. Так, оснащение СГХС задней оси трактора класса 1,4 увеличило производительность работ на 22–26 % по сравнению с колесным. При крюковой нагрузке в 12,9 кН буксование колесного трактора составило 15 %, колесно-гусеничного – 6,9 %. Показатели твердости и плотности почвы после проезда колесного трактора выше, соответственно, на 6 и 11 % по сравнению с колесно-гусеничным [7, 14].

Представляет интерес экспериментальная оценка тягово-сцепных свойств и УВП с.-х. тракторами с различными типами движителей: колесами со стандартными и водозаполненными шинами, сдвоенными колесами, СГХС только на задней и на обеих осях [10, 12, 15]. На различных почвенных фонах и покрытиях. СГХС, установленные на обеих осях тракторов, обеспечивают большее тяговое усилие при наименьшем УВП и буксовании. Отмечено более равномерное распределение напряжений по опорной поверхности.

Исследования загруженного свеклоуборочного комбайна с широкопрофильными шинами и СГХС выявило, что вертикальное напряжение в почве от шин больше, чем от СГХС [13]. Экспериментально установлено, что СГХС, в отличие от широкопрофильных шин, выдерживают значительно более высокие нагрузки и повышают тягово-сцепные свойства комбайна.

Исследователи подчеркивают, что СГХС с РАГ обеспечивают проходимость с.х. техники и устойчивое выполнение технологических операций. При этом динамический характер воздействия изменяется на квазистатический. Установка СГХС хотя бы на одну ось машины уже снижает воздействие на почву в 2 раза и более, а эффективность техники увеличивается до 20 % [15, 16].



Рис. 1. Трактор Беларус-622 со съемной гусеничной ходовой системой

С учетом этих преимуществ появляются варианты СГХС для тракторов [3, 14], комбайнов [4, 16] и автомобилей с.х. назначения [9]. В продолжение исследований создавалась конструкция СГХС для трактора класса 0,9 (рис. 1).

Цель исследований – обоснование параметров и разработка конструкции СГХС для ведущего моста серийного с.-х. трактора.

Методика исследований. В качестве базовой машины выбрали колесный трактор класса 0,9 Беларус 622 производства РУП «Бобруйский завод тракторных деталей и агрегатов». Колесная формула – 4К4а, а привод передних колес – отключаемый. При полной массе 3000 кг трактор имеет турбированный дизельный двигатель *Lombardini LDW 2204T* мощностью 46 кВт (62,5 л.с.).

В качестве исходных данных для создания СГХС использован существующий отечественный и зарубежный опыт проектирования и расчета, испытаний и эксплуатации гусеничных ходовых систем автомобилей, тракторов, комбайнов и спецтехники. В особенности уделено внимание изучению опыта исследователей Приамурского государственного университета имени Шолом-Алейхема, ДальНИИМЭСХ, Дальневосточного ГАУ (Россия), а также зарубежных коллег из организаций: Aarhus University (Дания), Bern University of Applied Sciences, Agroscope, Swiss Federal Institute of Technology, Soil and Terrestrial Environmental Physics (Швейцария), Swedish University of Agricultural Sciences (Швеция), Norwegian University of Life Sciences (Норвегия), Bologna University, CNH Italia S.p.A. (Италия), Desert Research Institute (США), McGill University (Канада), Silsoe Research Institute (Великобритания).

Теоретическое обоснование создания СГХС проводили на основе общей динамики и тягового расчета колесных и гусеничных тракторов.

Проектирование и расчет конструкции СГХС осуществляли с применением современных CAD/CAM-систем и в соответствии требованиями ГОСТ 2.102-2013 ЕСКД, ГОСТ 3.1001-2011 ЕСТД, ГОСТ 25347-82 ЕСТП.

Результаты исследований. Разработали конструкцию СГХС с РАГ (рис. 2). Помимо известных преимуществ, РАГ позволяет обеспечить тягово-сцепные свойства тракторов на уровне серийных металлических гусениц, возможность реализации сцепного веса из-за лучшего распределения давления под опорной поверхностью гусениц [3, 8, 17, 18].

СГХС содержит: систему регулирования площади опорной поверхности; узел гусеничного зацепления, спроектированный с учетом конструктивных особенностей РАГ для плавной и безударной передачи крутящего момента [17]; стабилизатор тангенциальной устойчивости с упругой связью; систему микроподпрессоривания.

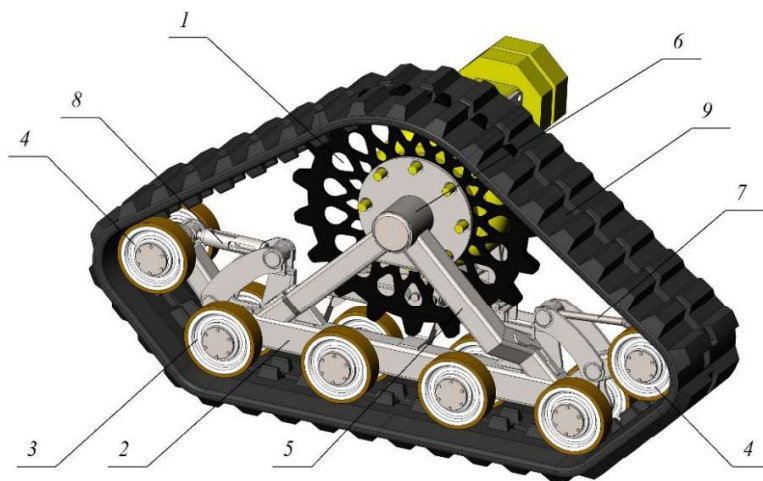


Рис. 2. Конструкция СГХС трактора Беларус-622:
1 – ведущее колесо; 2 – рама катков; 3 – опорный каток; 4 – направляющий каток;
5 – кронштейн крепления ступицы ведущего колеса; 6 – ступица ведущего колеса;
7 – механизм натяжения гусеницы; 8 – механизм регулирования площади опорной поверхности; 9 – резиноармированная гусеница

Стабилизатор тангенциальной устойчивости СГХС крепится к раме катков с внутренней стороны (рис. 3). Он имеет жесткую конструкцию и посредством зажима с замком и подпора через упругие элементы связывает раму ходовой системы с балкой заднего моста трактора. Узел определяет надежность всей конструкции СГХС.

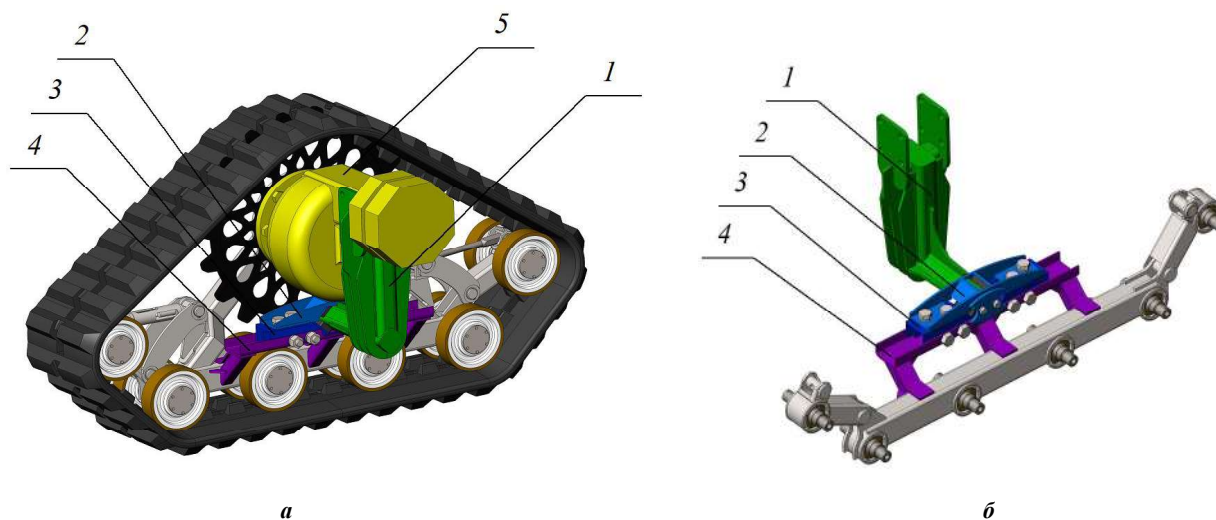


Рис. 3. Стабилизатор тангенциальной устойчивости:

а – вид на внутреннюю сторону съемной гусеничной ходовой системы; б – вариант стабилизатора с зажимом; 1 – стабилизатор тангенциальной устойчивости; 2 – замок; 3 – зажим; 4 – подпор; 5 – балка моста

Ряд производителей вынуждены снимать с производства СГХС в виду отказов именно по этому стабилизатору. Его разрушение приводит к непредсказуемым изменениям углов крена и дифферента корпуса трактора, а также к его опрокидыванию при достижении критических значений этих углов в ходе эксплуатации. Кроме того, возникают разрушения как самих СГХС, так и элементов конструкции трактора, оказавшихся в контакте с ними.

Упруго-демпфирующие и виброзащитные свойства СГХС, обеспечивающие смягчение и поглощение высокочастотных вибраций, толчков и ударов при движении по неровностям пути, копирование рельефа, а также функции механизма сдавливания для предохранения гусеницы от перегрузок, реализуются с помощью индивидуальной подвески катков в виде полимерных упругих элементов (рис. 4). Раздельная работа упругих элементов, размещенных на одной оси, обеспечивает следование продольным неровностям.

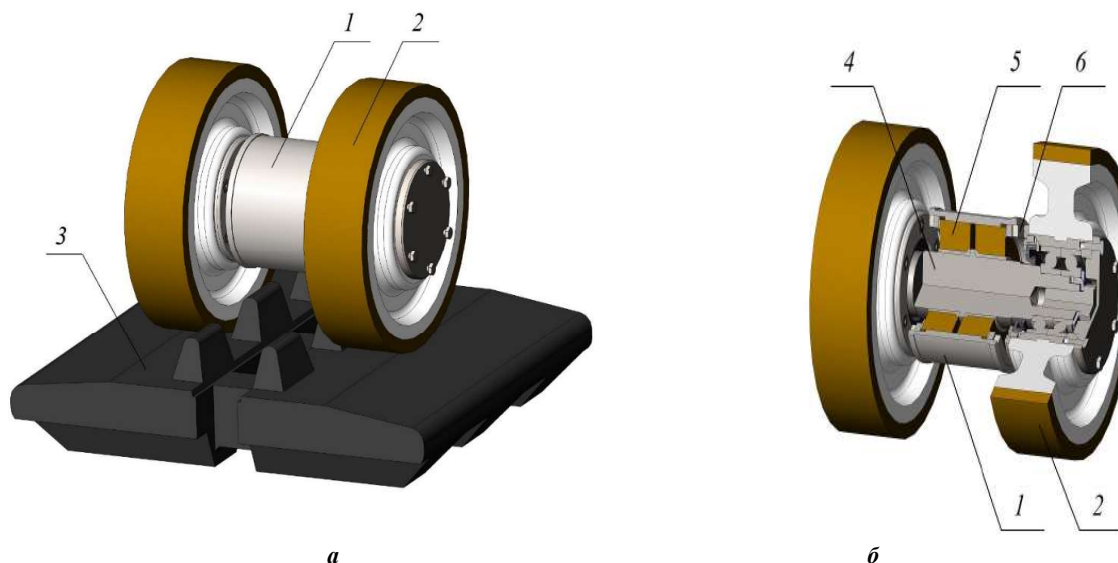


Рис. 4. Система микроподдрессирования съемной гусеничной ходовой системы:

а – каток в сборе с подвеской и в контакте с гусеницей; б – подвеска с концентрическими упругими элементами; 1 – обойма; 2 – каток и элементы его фиксации; 3 – фрагмент гусеницы; 4 – ось катков; 5 – упругий элемент; 6 – крышка и элементы ограничения осевого хода

Механизм регулирования площади опорной поверхности позволяет управлять тягово-сцепными свойствами и УВП трактора посредством изменения угла наклона рычага крайнего опорного катка (рис. 5). Из рисунка видно, что удлинение опорной ветви гусеницы увеличивает общую площадь пятна контакта СГХС до 23 %. Механизм обладает перспективой автоматизации для адаптации СГХС к почвенно-климатическим условиям при движении трактора.

Большая площадь контакта позволяет снизить вредное УВП, повысить эффективность использования сцепного веса путем лучшего распределения массы орудия, улучшить поперечную устойчивость, проходимость на почвах с низкой несущей способностью. А меньшее пятно контакта снижает сопротивление повороту и движению по дорогам с твердым покрытием.





Расчетным путем определено среднее давление движителей трактора на почву: исходный колесный – 82,11 кПа, с СГХС на задней оси – 59,93 кПа и с СГХС на обеих осях – 40,30 кПа. Даже без возможного увеличения площади опорной поверхности трактор с СГХС на задней оси превосходит заводскую комплектацию, обеспечивая давление на почву менее нормативного значения 80 кПа по ГОСТ Р 58655-2019 при наибольшей влажности почвы в весенний период в слое 0-30 см и наименьшей влагоемкости свыше 0,9 НВ.

Трактор, оснащенный СГХС, способен работать в различных почвенно-климатических условиях, в т.ч. в межсезонье, зонах рискованного земледелия, на переувлажненных и слабонесущих почвах.

Разработка СГХС для передней и задней осей трактора является перспективным направлением исследований [10, 12, 19, 20]. В то же время важно провести ряд конструкторско-технологических мероприятий по снижению сопротивления повороту передних управляемых движителей.

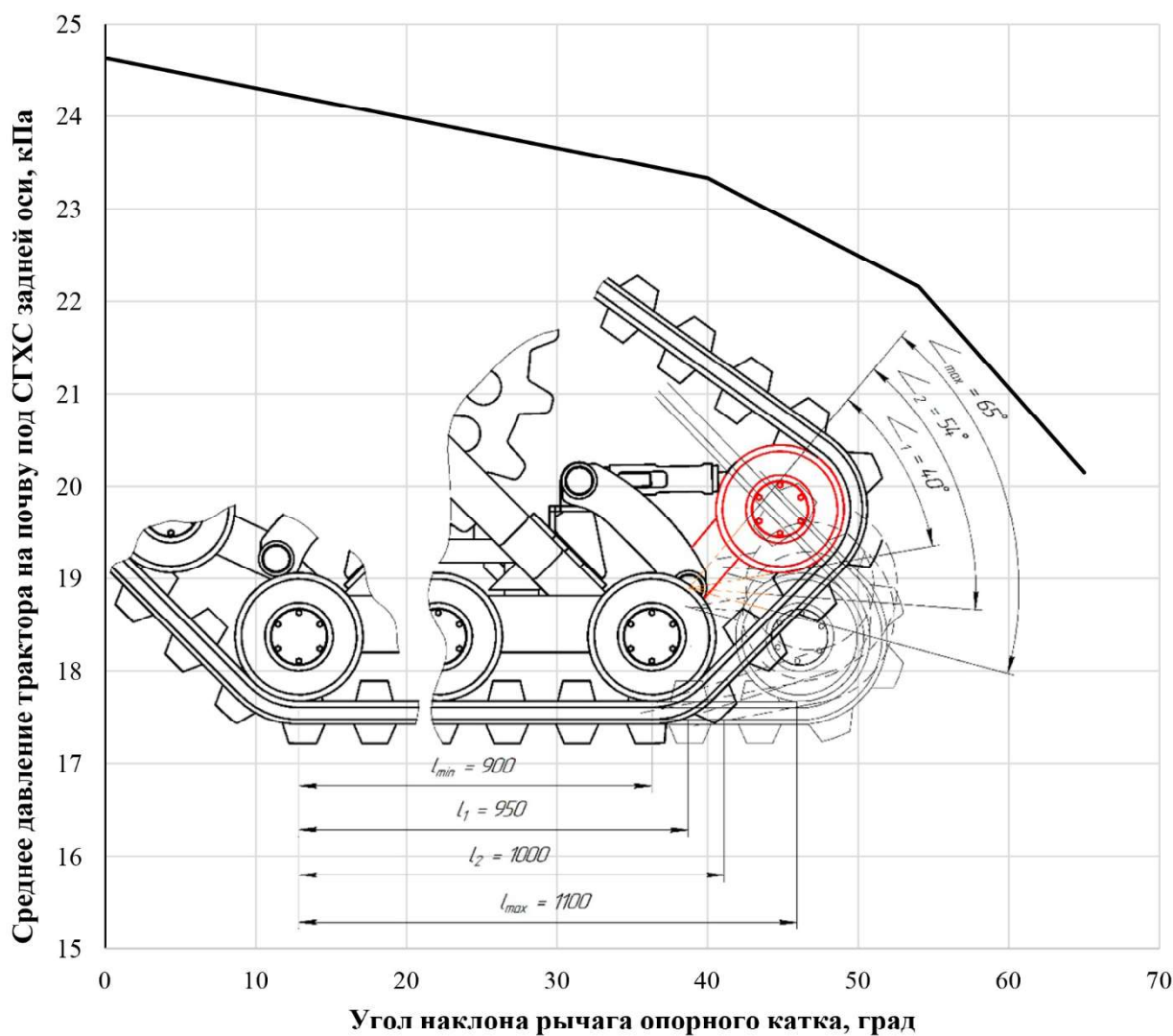


Рис. 5. Зависимость среднего давления трактора на почву под СГХС задней оси от угла наклона рычага опорного катка

Возникает потребность и в других регулировках: изменение натяжения гусеницы и геометрии гусеничного обвода для обеспечения наилучших тягово-сцепных свойств в различных условиях; обеспечение блокировки подвески при выполнении наиболее точных технологических операций и т.д.

Эти возможности можно реализовать путем создания адаптивной СГХС с системой технического зрения и автоматизированного управления всеми регулировочными процессами в зависимости от заданных почвенно-климатических условий, рельефа почвенного фона или дорожного покрытия, наличия тяжелых препятствий и преград.

Анализ состояния машинно-тракторного парка в нашей стране выявил избыток тракторов класса 1,4, равный 7 тыс. ед. При этом дефицит тракторов класса 2,0 составляет 18,5 тыс. ед. [11]. Этот дефицит можно восполнить, установив СГХС на тракторы класса 1,4. То есть за счет создания тракторов переменного тягового класса 1,4–2,0. В данном случае избыточные 7 тыс. тракторов класса 1,4 могут задействоваться

на работах, предусмотренных для тракторов класса 2,0. А оставшиеся 11,5 тыс. тракторов – на работах, предусмотренных для обоих тяговых классов.

Заключение. Разработана экологически безопасная конструкция СГХС с.-х. трактора класса 0,9 с инновационными элементами, обоснованы ее конструкторско-технологические параметры.

Создан экспериментальный образец СГХС, устанавливающийся вместо задних колес без внесения изменений в конструкцию трактора.

Обеспечено повышение эксплуатационных свойств трактора:

тягово-сцепных свойств и навесоспособности трактора тягового класса 0,9, что позволяет перевести его в класс тяги 1,4 по сцеплению;

снижение давления на почву до 60-65 кПа (в 1,38 раза) при установке СГХС на заднюю ось и до 40-50 кПа (в 2,04 раза) – на обе оси трактора. Это соответствует современным нормативам воздействия движителей на почву даже при ее наибольшей влажности в весенний период в слое 0-30 см, когда наименьшая влагоемкость превышает 0,9 НВ.

Сформированы направления дальнейших исследований по СГХС:

повышение линейной скорости движения трактора с СГХС до уровня колесного вследствие установки передних СГХС и/или бортовых редукторов;

снижение вибронагруженности и повышение плавности хода.

Обоснованы перспективы создания тракторов переменного тягового класса на базе колесных тракторов класса 1,4, находящихся в избытке. Это, в частности, позволит восполнить дефицит тракторов класса 2,0.

СГХС позволяют обеспечить полную годовую загрузку трактора и его более ранний выход на полевые работы, а в целом – повысить производительность и качество выполняемых операций.

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (соглашение 075-15-2023-220).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидманидзе О.Н., Девянин С.Н., Парлюк Е.П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра. – Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 1. С. 74–85.
2. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев [и др.] // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сб. статей 26-й Московской Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12–13 мая 2022 года. М., 2022. С. 15–21.
3. Шарипов В.М., Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Есеновский-Лашков М.Ю., Овчинников Е.В. К вопросу создания отечественного гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 39–49.
4. Емельянов А.М., Бумбар И.В., Канделя М.В., Рябенко В.Н., Шпилев Е.М. Зернокомбайны (основы теории и конструкторско-технологические устройства). Благовещенск: ДальГАУ, 2013. 285 с.
5. ten Damme L., Schjønning P., Munkholm L.J., Green O., Nielsen S.K., Lamandé M. Soil structure response to field traffic: Effects of traction and repeated wheeling // Soil & Tillage Research. 2021. Vol. 213. P. 105128.
6. Keller T., Trautner A., Arvidsson J. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows // Soil & Tillage Research. 2002. Vol. 68. P. 39–47.
7. Канделя М.В., Канделя Н.М. Определение касательной силы тяги трактора класса 1,4 на полугусеничном ходу // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2021. № 1(42). С. 32–35.
8. Лавров А.В., Шевцов В.Г., Русанов А.В., Казакова В.А. Согласование тягово-сцепных качеств движителей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств с допустимым максимальным давлением на почву // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. № 14(3). С. 9–14.
9. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л. К вопросу создания экологически безопасных всесезонных автомобилей сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 3. С. 48–52.
10. Arvidsson J., Westlin H., Keller T., Gillberg M. Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction // Soil & Tillage Research. 2011. № 117. P. 103–109.
11. Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A., Khamuev V.G. Improving the methodology for assessing the level of localization of production of agricultural mobile energy devices // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 971. P. 052053.
12. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks // Biosystems Engineering. 2012. Iss. 1. Vol. 111. P. 57–63.
13. Lamande M., Greve M.H., Schjønning P. Risk assessment of soil compaction in Europe – Rubber tracks or wheels on machinery // Catena. 2018. Vol. 167. Pp. 353–362.
14. Канделя М.В., Канделя Н.М. Полевые испытания колесного трактора класса 1,4 с различной компоновкой ходовой части // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2021. № 1(42). С. 36–40.
15. Dwyer M.J., Okello J.A., Scarlett A.J. A theoretical and experimental investigation of rubber tracks for agriculture // Journal of Terramechanics. 1993. Vol. 30. P. 285–298.





16. Канделя М.В., Липкань А.В., Рябченко В.Н., Самуйло В.В. К обоснованию применения гусеничных машин в условиях дальнего востока // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 2(46). С. 159–167.
17. Федоткин Р.С., Крючков В.А., Бейненсон В.Д., Парфенов В.Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 3. С. 24–32.
18. Щельцын Н.А., Бейненсон В.Д., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Белый И.Ф., Ревенко В.Ю. Сравнение тяговых показателей и долговечности гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов // Известия МГТУ МАМИ. 2017. № 4 (34). С. 81–88.
19. Крючков В. А. К вопросу оптимизации трансмиссии колесных тракторов для установки съемных гусеничных ходовых систем // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 3(28). С. 364–374.
20. Федоткин Р.С. Выбор двигателя для тракторов и комбайнов // Сельский механизатор. 2019. № 4. С. 2–3.

REFERENCES

1. Didmanidze O.N., Devyanin S.N., Parlyuk E.P. Agricultural tractor: yesterday, today, tomorrow. *Agricultural science of the Euro-North-East*. 2020; 21: 1: 74–85.
2. The future of tractor manufacturing in Russia / V. I. Trukhachevet al. *Lifting and transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes*. Moscow, 2022: 15–21.
3. Sharipov V.M., Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Esenovskiy-Lashkov M.Yu., Ovchinnikov E.V. On the issue of creating a domestic caterpillar tractor for modern agricultural production. *Tractors and agricultural machinery*. 2018; 2: 39–49.
4. Emelyanov A.M., Bumbar I.V., Kandelya M.V., Ryabchenko V.N., Shpilev E.M. Grain forage harvesters (fundamentals of theory and design and technological devices). Blagoveshchensk: DalGAU, 2013. 285 p.
5. ten Damme L., Schjønning P., Munkholm L.J., Green O., Nielsen S.K., Lamandé M. Soil structure response to field traffic: Effects of traction and repeated wheeling. *Soil & Tillage Research*. 2021; 213: 105128.
6. Keller T., Trautner A., Arvidsson J. Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during plowing, both on-land and within furrows. *Soil & Tillage Research*. 2002; 68: 39–47.
7. Kandelya M.V., Kandelya N.M. Determination of the tangential traction force of a class 1.4 tractor on a half-track. *Bulletin of the Amur State University named after Sholom Aleichem*. 2021; 1(42): 32–35.
8. Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Rusanov A.V., Kazakova V.A. Coordination of the traction and coupling qualities of the propulsors of agricultural mobile energy vehicles with the permissible maximum pressure on the soil. *Agricultural machines and technologies*. 2020; 14(3): 9–14.
9. Godzhaev Z.A., Izmailov A.Yu., Evtyushenkov N.E., Kryukov M.L. On the issue of creating environmentally friendly all-season vehicles for agricultural purposes. *Tractors and agricultural machines*. 2016; 3: 48–52.
10. Arvidsson J., Westlin H., Keller T., Gillberg M. Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction. *Soil & Tillage Research*. 2011; 117: 103–109.
11. Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A., Khamuev V.G. Improving the methodology for assessing the level of localization of production of agricultural mobile energy devices. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 971: 052053.
12. Molari G., Bellentani L., Guarnieri A., Walker M., Sedoni E. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. *Biosystems Engineering*. 2012; 1; 111: 57–63.
13. Lamande M., Greve M.H., Schjønning P. Risk assessment of soil compaction in Europe – Rubber tracks or wheels on machinery. *Catena*. 2018; 167: 353–362.
14. Kandelya M.V., Kandelya N.M. Field tests of a class 1.4 wheeled tractor with different chassis layouts. *Bulletin of the Amur State University named after Sholom Aleichem*. 2021; 1(42): 36–40.
15. Dwyer M.J., Okello J.A., Scarlett A.J. A theoretical and experimental investigation of rubber tracks for agriculture. *Journal of Terramechanics*. 1993; 30: 285–298.
16. Kandelya M.V., Lipkan A.V., Ryabchenko V.N., Samuylo V.V. To justify the use of tracked vehicles in the conditions of the Far East. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2018; 2(46): 159–167.
17. Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Beinenson V.D., Parfenov V.L. Methodology for designing lantern engagement drive wheels with rubber-reinforced tracks of traction and transport vehicles. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017; 3: 24–32.
18. Shchelstyn N.A., Beinenson V.D., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Bely I.F., Revenko V.Yu. Comparison of traction performance and durability of tracked propulsors of agricultural tractors. *News of MSTU MAMI*. 2017; 4 (34): 81–88.
19. Kryuchkov V. A. On the issue of optimizing the transmission of wheeled tractors for installing removable tracked running systems. *Innovations in agriculture*. 2018; 3(28): 364–374.
20. Fedotkin R.S. Choice of propulsion for tractors and combines. *Rural machine operator*. 2019; 4: 2–3.

Статья поступила в редакцию 21.07.2023; одобрена после рецензирования 10.08.2023; принята к публикации 15.08.2023.
The article was submitted 21.07.2023; approved after reviewing 10.08.2023; accepted for publication 15.08.2023.