

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ХОДОВЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГОСРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNDERCARRIAGE SYSTEMS OF MODERN MOBILE ENERGY DEVICES FOR AGRICULTURAL PURPOSES

**З.А. ГОДЖАЕВ**, д.т.н  
**А.М. ПОГОЖИНА**

Федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Федеральный научный агроинженерный  
центр ВИМ», г. Москва, Россия, fic51@mail.ru

**Z.A. GODZHAEV**, DSc in Engineering  
**A.M. POGOZHINA**

Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific  
Agro-Engineering Center VIM», Moscow, Russia, fic51@mail.ru

Завершающим этапом возделывания сельскохозяйственных культур является уборка урожая. От качества проделанной операции зависит годовой итог и эффективность всех предыдущих работ. Важно еще не только качественно убрать урожай, но сохранить плодородие почвы и избежать уплотнения почвы. Проблема переуплотнения становится все острее в связи с массовым применением тяжелых колесных тракторов и комбайнов. Степень уплотнения почвы зависит от типа движителя, массы трактора и числа проходов агрегатов по полю. Негативное воздействие ходовых систем на почву следует учитывать при создании новых машин на основе новых компоновочных схем для снижения конструкционной массы с учетом динамики и распределения центра масс от вариации нагрузки на крюке. Снизить давление и равномерно его распределить позволяет создание более совершенных движителей и ходовых систем. Целью данной статьи является анализ самых перспективных конструкций ходовой системы мобильной сельскохозяйственной техники, которая может уменьшить удельное давление на грунт, улучшить проходимость сельскохозяйственной техники и обеспечить более комфортную высадку и сбор урожая. На данный момент можно выделить следующие основные направления развития ходовых систем сельхоз техники: пневмогусеницы, сдвоенные колеса, полугусеничный ход, установка резиноармированной гусеницы (РАГ) и торсион в качестве упругого элемента подвески.

Проводимые испытания подтвердили, что установкой сменного гусеничного движителя можно добиться снижения степени уплотнения почвы на 17–46 %, а применение сдвоенных колес показало увеличение тягового усилия на 20 % и уменьшение на 40 % глубины колеи. Использование пневмогусеницы позволяет повысить проходимость транспортной машины на грунтах со слабой несущей способностью и одновременно свести к минимуму ущерб, который она может нанести опорному основанию.

Популярная в последние годы сельхозтехника, на которой применяется резиноармированная гусеница. Ее ресурс в 4–5 раз больше по сравнению с металлозвенчатой. Кроме этого она позволяет снизить виброн нагруженность и производить работы в условиях переувлажненной почвы. РАГ ставится как в цельногусеничном исполнении, так и в форме колеса – гусеница. Данный движитель имеет форму резиновой треугольной гусеницы и монтируется вместо колеса.

В настоящее время на гусеничных тракторах широко применяются индивидуальные торсионные подвески опорных катков. Преимуществами новой торсионно-балансирной подвески позволило повысить надежность и долговечность ходовых систем гусеничных тракторов, повысить навесоспособность и снизить вибрации на рабочем месте оператора.

**Ключевые слова:** транспортно-технологические машины, мобильная сельхозтехника, гусеничная машина, резиноармированная гусеница, плавность хода, быстроходность, переуплотнение почвы, пневмогусеница, торсион.

The final stage of the cultivation of crops is harvesting. The quality of the operation depends on the annual result of the effectiveness of all previous work. It is important not only to harvest well, but to preserve the fertility of the soil and avoid soil compaction. The problem of compression is becoming more acute due to the massive use of heavy wheeled tractors and combines. The degree of soil compaction depends on the type of propulsion unit, the weight of the tractor and the number of passes of the units across the field. The negative impact of undercarriage systems on the soil should be considered when creating new machines based on new layout schemes, to reduce the structural weight, taking into account the dynamics and distribution of the center of mass of the variation in hook load. To reduce pressure and evenly distribute it is possible through the creation of more advanced propulsion and suspension systems. The purpose of this article is to analyze the most promising designs of the mobile agricultural machinery undercarriage systems, which can reduce the specific pressure on the ground, improve the throughput of agricultural machinery and provide a more comfortable planting and harvesting. At the moment, the following main directions of development of agricultural machinery undercarriage systems can be distinguished: pneumatic tracks, twin wheels, half-track, installation of rubber-reinforced tracks (RRT) and torsion as an elastic suspension element.

The tests carried out confirmed that the installation of a changeable tracked propulsion unit can reduce the degree of soil compaction by 17–46 %, and the use of twin wheels showed an increase in pulling force by 20 % and a decrease

in gauge depth by 40 %. The use of pneumatic trackers allows to increase the permeability of the transport vehicle on soils with a weak bearing capacity and at the same time minimize the damage that it can cause to the supporting base. Recently it is popular to operate the agricultural machinery, which uses rubber-reinforced caterpillar. Its caterpillar operational cycle is higher of 4–5 times comparing to those from metal. In addition, it allows to reduce vibration load and do the work at wet soil conditions. RRT is put both in the all-track version, and in the form of a wheel-caterpillar. This propulsion unit has a triangular shape of rubber tracks is mounted instead of wheels. Currently, individual torsion hangers of track rollers are widely used on tracked tractors. The advantages of the new torsion-balance suspension made it possible to increase the reliability and durability of tracked tractors undercarriage systems.

**Keywords:** transport and technological machines, mobile agricultural machinery, caterpillar machine, rubber-reinforced caterpillar, smoothness of motion, high speed, re-compaction of the soil, pneumo-caterpillar, torsion.

## Введение

В связи с бурным развитием техники и технологии уплотнение почвы достигает уровня, когда дальнейшее ее использование для выращивания культур становится невозможным [2]. Интенсивные механические обработки и многократные проходы агрегатов нарушают структуру почвы и увеличивают ее плотность. Нарушается и ухудшается водный и воздушный режим питания растений, что приводит к сокращению урожайности возделываемых культур. Установлено, что последние 40 лет удельное сопротивление почвы при обработке увеличилось в 1,25–1,4 раза [3]. При решении проблемы сохранения плодородия почвы и повышения эффективности посевных и уборочно-транспортных комплексов немаловажную роль играет конструкция ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники и создание специальных опорно-двигательных устройств, позволяющих уменьшить давление машин на почву. Применяются пневмогусеницы, сдвоенные или строенные колеса, широкопрофильные пневматические шины с регулируемым давлением воздуха, системы полугусеничного хода, резино-армированные гусеницы (РАГ) и торсионная подвеска на гусеничных мобильных энергосредствах [4].

## Цель исследования

Анализ самых перспективных конструкций ходовой системы мобильной сельскохозяйственной техники, которая может уменьшить удельное давление на грунт, улучшить проходимость сельскохозяйственной техники и обеспечить более комфортную высадку и сбор урожая.

## Результаты анализа и обсуждение

При разработке и создании ходовых систем раньше больше применялись полигонные, стендовые и полевые испытания. В связи с развитием методов математического моделирования и появлением высокопроизводи-

тельного программного обеспечения процесс разработки и создания ходовых систем стал менее трудоемким, но более наукоемким. Большой объем работы на стадии проектирования, производства и доводки конструкции можем выполнять с помощью компьютерных и имитационных моделей. Так, определение упруго-демпфирующих характеристик, определение напряженно деформированного состояния, оценку долговечности, прочности элементов конструкции, а также моделирование работ под нагрузкой и оценка функциональных свойств возможно провести с помощью расчетных адекватных моделей. Особенно широкое распространение при решении этих задач получило применение методов конечных элементов и расчетных программных комплексах MatLAB Simulink, MSC Adams и др. [5–7].

Для особых условий работы, таких как, заболоченная местность, пойма реки, применяют полугусеничный ход, который позволяет увеличить площадь контакта и сцепление движителей с почвой. Полугусеничный ход успешно прошел испытания в Амурской области в 2011 году. В.И. Гоменюк выявил, что с повышением тягового сопротивления с 12 до 14 кН у трактора МТЗ-80 на полугусеничном ходу величина буксования возросла с 6,0 до 10,5 %. У серийного трактора МТЗ-80 на колесном ходу рост буксования составил от 14 до 36 %. Сравнивая величину буксования у трактора на полугусеничном ходу и серийном при одном и том же тяговом усилии, отмечается, что у трактора на полугусеничном ходу она меньше и приближается к буксованию гусеничного трактора [8].

В ходе испытаний выявилась перспектива улучшения функционально-экологической эффективности и колесных тракторов за счет использования на них сменного колесно-гусеничного хода, что обеспечивает им значительное снижение воздействия (максимального давления и буксования) на почву и резкое повыше-

ние тягово-сцепных свойств без потери своей мобильности.

В экспериментальном исследовании С.И. Камбулов использовал машинно-тракторные агрегаты (МТА) на базе колесного трактора К-701, оборудованные сменными гусеничными движителями, и подтвердил щадящее воздействие этого движителя на почву. Он выявил уменьшение общей площади уплотнения почвы на 13 %, уменьшение глубины колеи на 35 % и снижение степени уплотнения почвы на 17–46 %. Экономический эффект от установки сменного гусеничного движителя равен 12,8–34,5 руб./га, в зависимости от объемов работ [9].

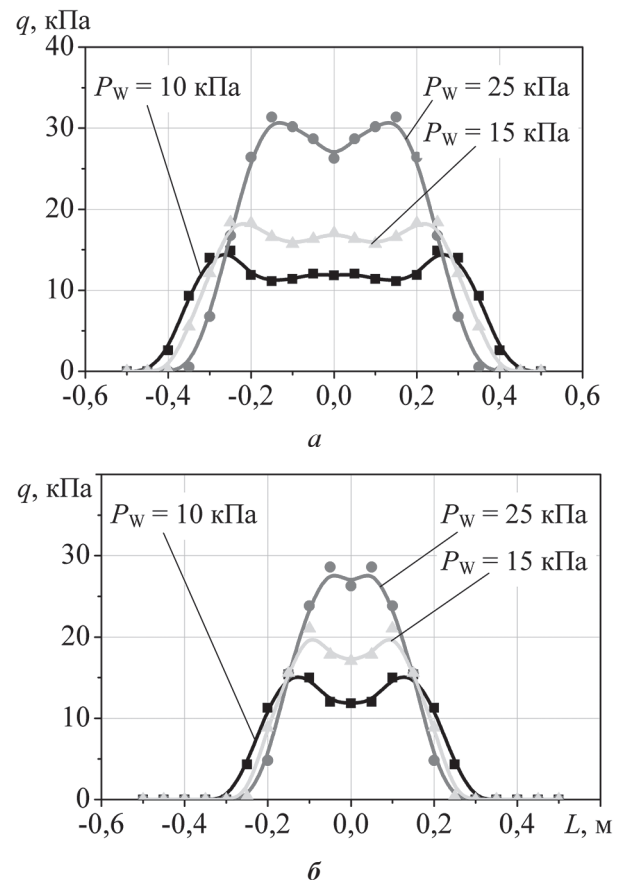
Если говорить о колесных мобильных энергосредствах, увеличение площади контакта может достигаться при применении сдвоенных и строенных ведущих колес. Пневматические шины на влажных, рыхлых и заснеженных грунтах не развивают должного сцепления, т.е. буксуют. В результате происходит уменьшение силы тяги и скорость, проходимость трактора ухудшается, а также возрастают потери мощности на передвижение, и снижается экономичность работы трактора.

Одним из примеров успешного применения сдвоенных шин является трактор МТЗ-80. Колеса с аграрными шинами 12-38 на стерне суглинка развивает тяговое усилие на 20 % большее и имеет на 40 % меньшую глубину колеи, чем на одинарных шинах [10]. В работе Г.А. Окунева был произведен расчет технико-экономических показателей использования на тракторе ХТЗ-150К-09 одинарных и сдвоенных шин. Он показал, что использование сдвоенных колес на тракторе ХТЗ-150К-09 позволяет реализовать потенциальные возможности посевного агрегата и повысить производительность выполнения данной технологической операции на 11,4 % в сравнении с его использованием на одинарных колесах.

Внедрялись широкопрофильные шины с возможностью регулировки внутреннего давления. Внутреннее давление в шине можно изменять в широком интервале в зависимости от условий эксплуатации. Особенностью конструкции является высокая эластичность и прочность связи между элементами покрышки. Для преодоления труднопроходимых участков пути давление в шинах снижают до 0,05 МПа, а затем при движении по обычной дороге повышают до требуемого. В результате проходимость повышается благодаря увеличению площади контакта поверхности покрышки с грунтом.

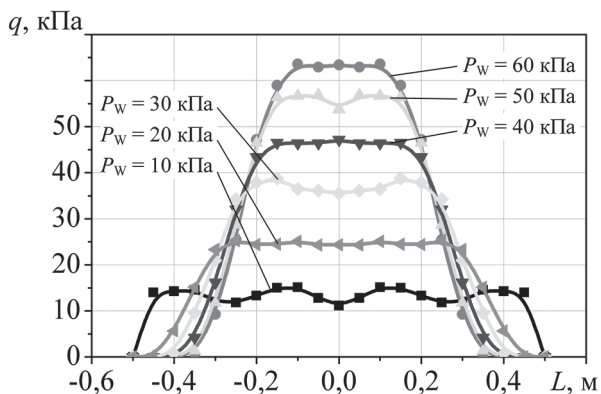
Установка шин сверхнизкого давления дает возможность изменять давление воздуха в определенных пределах. Понижение давления воздуха в шинах при движении по почвам с низкой несущей способностью значительно уменьшает давление на почву и повышает проходимость МЭС.

Были произведены исследования, на примере универсально-пропашного колесного трактора тягового класса 1,4 (Беларус 82.1) с установленными шинами сверхнизкого давления. Результатами исследования оказалось, что при нагрузке на колесо 2,45 кН продольные и поперечные эпюры распределения давления в пятне контакта имеют седловидную форму (рис. 1)

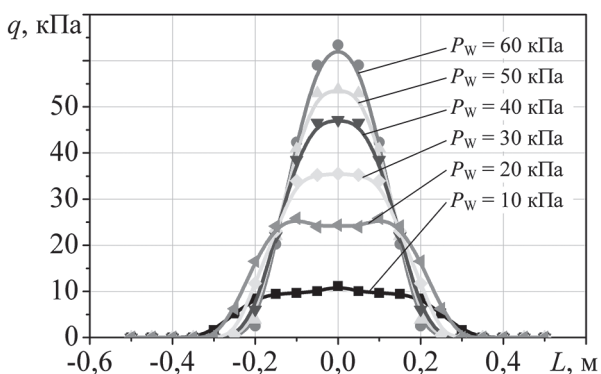


**Рис. 1. Расчетные значения распределение давления в пятне контакта шины при нагрузке 2,45 кН: а – продольные; б – поперечные**

Результаты, приведенные на рис. 2, показывают, что снижение давления воздуха в шине при нагрузке 4,41 кН приводит к тому, что максимальные контактные давления смещаются от центра к периферии пятна контакта, при этом данный эффект наиболее ярко проявляется при давлении воздуха 10 кПа. С повышением давления и нагрузки эпюры принимают клинообразный вид, о чем наглядно свидетельствуют



**Рис. 2.** Расчетные значения продольных эпюр распределения давлений в пятне контакта шины при нагрузке 4,41 кН



**Рис. 3.** Расчетные значения поперечных эпюр распределения давлений в пятне контакта шины при нагрузке 4,41 кН

результаты исследований, приведенные на рис. 3.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что при нагрузке на колесо 2,5 кН их величина меньше нижнего порога несущей способности почвы и не превышает 40 кПа. При нагрузке на колесо 4,41 кН условие по обеспечению проходимости соблюдается при давлении воздуха в шине не более 40 кПа, а при давлениях воздуха в шине 50–60 кПа максимальные контактные давления превышают верхний порог несущей способности почвы повышенной влажности, равный 50 кПа.

Опорная проходимость для МЭС обеспечивается при нагрузке на колесо 2,5 кН и давлении воздуха в шинах 10–20 кПа, а при нагрузке 4,41 кН – лишь при давлениях воздуха 10–40 кПа. Из сказанного следует, что для обеспечения опорной проходимости по почвам с низкой несущей способностью целесообразно использовать шины, рассчитанные на заданную нагрузку и малых давлениях воздуха.

Стремление совместить положительные качества гусеницы и пневмоколесного движителя

привело к созданию пневмогусеницы. Она сочетает в себе такие достоинства, как пониженное давление на опорную поверхность, высокую проходимость и демпфирующие свойства [11]. Пневмогусеницы делятся на однополостные и многополостные. Однополостные пневматические гусеницы представляют собой одну или несколько замкнутых торообразных оболочек. Главное достоинство конструкции – равномерное распределение давлений на опорную поверхность по длине. Максимальное давление, оказываемое на опорную поверхность и неравномерность его распределения, у транспортных средств (ТС) на пневмогусеничных движителях существенно меньше, чем у ТС на металлических гусеницах [11]. Недостатком однополостной пневматической гусеницы является высокая способность к быстрому затуханию собственных колебаний, склонность к спаданию, ограничение ресурса износом гусеницы при эксплуатации на грунтах с выраженными абразивными свойствами и сложность изготовления. Многополостные же пневмогусеницы представляют собой сумму резинокордных пневмотраков, которые закреплены на гусеничной цепи.

Например, распределение давлений на опорную поверхность по длине у транспортера ГАЗ-47-ПП по сравнению с ГАЗ-47 меньше в 1,6–1,9 раза. С пневмогусеницами коэффициент сопротивления движению, а также глубина колеи машины на снежной целине по сравнению с обычной гусеничной машиной меньше в 1,2–1,5 раза.

В последние годы популярность приобретает сельскохозяйственная техника на гибридных резиноармированных платформах. Она объединяет в себе преимущества колесных и гусеничных движителей, открывая новые возможности.

Применение РАГ позволяет увеличить ресурс гусениц в 4–5 раз по сравнению с металлозвенчатыми, снизить вибрационную нагруженность и работать в условиях повышенной влажности. Кроме этого, появляется возможность развивать более высокие скорости на транспортных работах и на дорогах с улучшенным покрытием. Достоинства РАГ: снижение внешнего шума и улучшение условий труда в кабине оператора, снижение техногенного воздействия на почву, степени ее уплотнения, повышение производительности, улучшение тягово-сцепных свойств и уменьшение величины буксования. Кроме того, они обладают хо-

рошей самоочищаемостью от грязи при любой влажности, и формы грунтозацепов выполнены таких образом, что сползание трактора при работе на косогорах исключается [10]. С 2011 года налажен серийный выпуск гусеничных комбайнов КЗС-812С «Амур-Палессе» (рис. 4) на машиностроительном заводе «Кранспецбурмаш», г. Шимановска Амурской области.



**Рис. 4. Комбайн зерноуборочный с резиноармированной гусеницей КЗС-812С «Амур-Палессе»**

Вышедший на рынок Агротех ВТ 90ТГ оснащенный резиноармированной гусеницей, может похвастаться хорошим сцеплением с грунтом и любым типом дорожного покрытия. Важной особенностью трактора является универсальность по отношению к используемым гусеницам. Для сельского хозяйства наиболее предпочтительны упомянутые резиноармированные гусеницы. Для работы в карьерах или на строительных объектах их можно заменить традиционными металлическими, для выполнения работ на чрезмерно влажной или заболоченной почве – специальными болотоходными гусеницами.

На Западе перспективным и уже выпущенным на рынок являются движители типа колесо – гусеница. Данный тип движителя имеет форму резиновой треугольной гусеницы и монтируется вместо колеса [13]. Среди зарубежных производители известны такие как: итальянская фирма POOLUZZI TRACK SISTEM; канадская фирма SOUCY-TRACK (рис. 5); голландская фирма Zuidberg Tracks B.V.



**Рис. 5. Гусеничный ход от SOUCY-TRACK**

Отечественные разработки с применением таких гусениц, преимущественно для рисоуборочных и кормоуборочных комбайнов, изготавливаются на заводе ЗАО ПО «Дальсельмаш» для комбайнов Енисей -1200Р и резиноармированных гусениц ШПР для всех модификаций комбайнов производства Красноярского завода. Работы по изучению применения резиноармированных гусениц фирмы Bridgestone на тракторах и комбайнах типа «Енисей 1200Р» и «Кедр» начались в 1988 году в НПО «НАТИ» и ГСКБ по машинам для зоны Дальнего Востока (М.В. Канделя, В.Л. Земляк).

Также можно отметить появление колесных тракторов «Кировец» К-744Р1-К-744Р4, опционально имеющих возможность применения съемной гусеничной ходовой системы (рис. 2). Петербургским тракторным заводом разработан новый колесный трактор К-4 тягового класса 3–4.

Главными условиями, которые должны соблюдаться для гусеничного движителя являются: обеспечение возможности изменения площади контакта с опорной поверхностью, и, если гусеничный движитель разрабатывается для автомобиля, то он не должен создавать в системах автомобиля нагрузки, превышающие установленные заводом изготовителем.

В патенте ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [14] выполняются оба вышеперечисленных условия. Схема гусеничной тележки треугольной формы (рис. 6), опирающейся на четыре опорных катка, которые объединены в два независимых балансира и независимо подвешенных к несущей траверсе посредством пневмоподвески с возможностью трансформирования. Трансформироваться может из треугольной формы гусеничного обвода с опорой на четыре катка в пятиугольную при опоре на два катка. Уменьшенная величина площади пятна контакта с опорной поверхностью составляет 0,42 от нормального значения.

Данная конструкция позволит повысить производительность и снизить эксплуатационные затраты за счет уменьшения сопротивления качению гусеничного движителя по твердой опор-

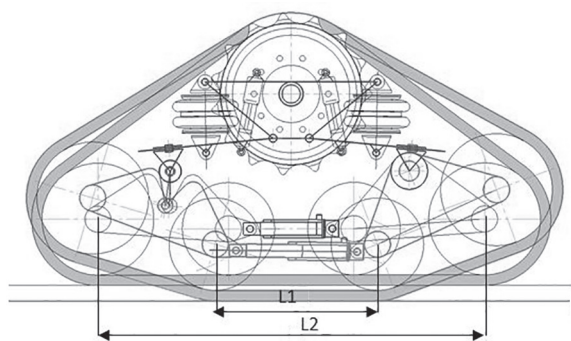


Рис. 6. Изменение профиля гусеничного обвода двигателя  $L2/L1 \sim 0,42$

ной поверхности и уменьшить сопротивление повороту гусеницы при образовании колеи на слабо несущей опорной поверхности.

Полугусеничное шасси монтировались на комбайны серии «Енисей 950» всех модификаций производства Красноярского завода, «Енисей-1200НМ, «Вектор 410» и «Нива» (Ростсельмаш), КЗС-812 «Палессе» (Гомсельмаш), на комбайны John Deere 3316 китайского производства, МТЗ-82 «Беларусь», Т-150К (ХТЗ), К-701 «Кировец».

Комплект гусеничных блоков монтируется вместо ведущих колес (базовых) на штатный мост и таким образом формируется сменное полугусеничное шасси ШПР. Шасси может быть смонтировано практически на любой зерноуборочный комбайн российского или зарубежного производства с использованием проставок и кронштейнов. По итогам государственных приемочных испытаний на Амурской МИС (с. Зеленый бор, Михайловский район) было выявлено, что ШПР легко монтируется на комбайн взамен пневматических колес и хорошо выполняет технологический процесс при уборке сои благодаря мягкому ходу, который обеспечивает устойчивую работу жатки и достижения более низкого среза [15].

Многочисленные исследования полевых транспортно-технологических процессов, например приведенные в работе [16] свидетельствуют об очевидном преимуществе грузовых автомобилей в сравнении тракторным транспортом. При этом уплотняющее воздействие на почву широкопрофильных автомобильных колес повышенной проходимости такое же, что у тракторов и прицепов. Поэтому при переходе на гусеничный движитель автомобиль увеличит свое преимущество, поскольку, с одной стороны, не требуется дополнительных гусениц на прицеп, а в составе автопоезда будет иметься более высокий тяговый КПД по сравнению с тракторным поездом за счет того, что весь груз в кузове автомобиля приходится на ведущие колеса и участвует в создании тягового усилия. На рис. 7 представлен общий вид справа колесного транспортного средства со сменным гусеничным движителем, установленным на передний и задний ведущие мосты. На рис. 8 показана разработанная трехмерная модель сельскохозяйственной гусеничной ходовой системы (СГХС).

В настоящее время еще одним перспективным направлением является применение на гусеничных тракторах индивидуальных торсионных подвесок опорных катков. Торсионная подвеска – тип подвески, основным элементом которой является металлический стержень цилиндрической формы (торсион). Этот элемент обладает большой упругостью и пружинит при скручивающих воздействиях. Торсион выдерживает феноменальные механические нагрузки, отлично сопротивляется большим крутящим напряжениям и практически не подвержен деформации при больших углах закручивания. Торсионные стержни бывают круглыми или квадратными в сечении, могут быть наборными (из нескольких металлических пластин) [17].

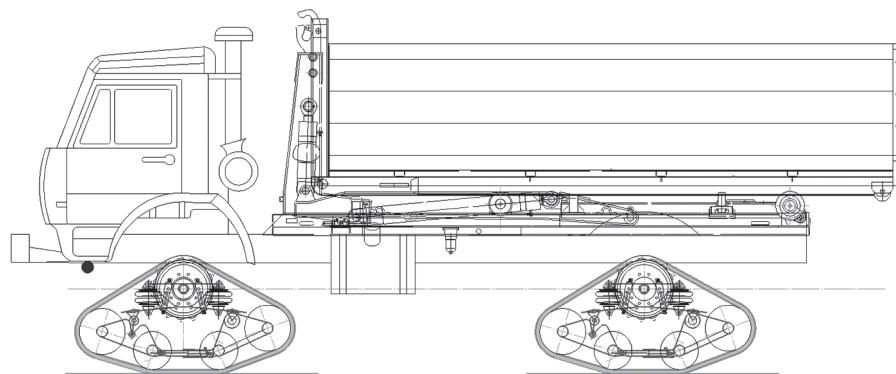


Рис. 7. Сменный гусеничный движитель колесного транспортного средства

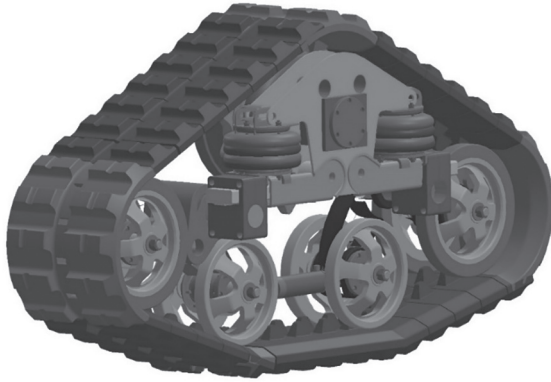


Рис. 8. Изометрическое представление трехмерной модели СГХС

В 2014 году заводом ХТЗ (Белгород), была разработана и применена новая торсионно-балансирная подвеска взамен подвески тракторов Т-150 и ХТЗ-181. На каретке расположены два опорных катка, которые через кованые стальные рычаги с приваренными цапфами скручивают один общий торсион с разных сторон. На малых тракторах подвеска мягкая и гасит высокочастотные колебания и вибрации, при увеличенной нагрузке торсион блокируется упорами цапф и каретка работает как балансирная, без упругого элемента.

Одно из достоинств торсионных в том, что они защищены от грязи лучше, чем пружины. Каретки по бортам и имеют одинаковый торсион, в отличие от применявшихся на ХТЗ-181 правых и левых торсионных дополнительных катков. На тракторах Т-150 (рис. 9, а) устанавливается четыре катка, которые объединены в 2 каретки, а на тракторах ХТЗ-181 (рис. 9, б) – шесть катков по три каретки на борт. Преимущества новой торсионно-балансирной подвески позволили повысить надежность и долговеч-

ность ходовых систем гусеничных тракторов ХТЗ, а также создать ходовую систему для гусеничного бульдозера класса 5–6 тонн.

Значительно повышена навесоспособность гусеничных тракторов, что позволяет работать с тяжелыми оборотными плугами. Подрессоривание катков на эластичном торсионе позволяет снизить вибрации на рабочем месте оператора, вызываемые неровностями рельефа и перематыванием гусениц, а балансирная подвеска обеспечивает точное копирование поверхности и полное сцепление всей опорной поверхности гусеницы с почвой, что улучшает тягу. Увеличение числа катков до шести снижает пиковые давления на почву, что важно для сельскохозяйственных тракторов [18].

Также И.П. Трояновская и С.П. Пожидаев провели исследование [19], целью которого являлась оценка плавности хода гусеничного трактора Т-150 с балансирной и торсионной подвеской. Измерения вибрации проводили при выполнении тракторами вспашки с плугами ПЛН-4-35 на первой и четвертой передачах (скорость 6,5 и 10 км/ч, соответственно) в условиях хозяйства «Весело-Полянское» Семеновского района Полтавской области Украины. По итогам проведенного исследования был сделан вывод, что во время транспортных переездов трактора Т-150 с навесным плугом ПЛН-4-35 торсионная подвеска во всем диапазоне частот обеспечивает существенно лучшую плавность хода (виброускорения пола кабины меньше на 5–10 дБ), чем балансирная. При выполнении пахоты торсионная подвеска снижает уровень низкочастотных виброускорений пола кабины на 2–7 дБ в диапазоне частот от 0,5 до 4–5 Гц. На частотах, превышающих 8–12 Гц, уровень

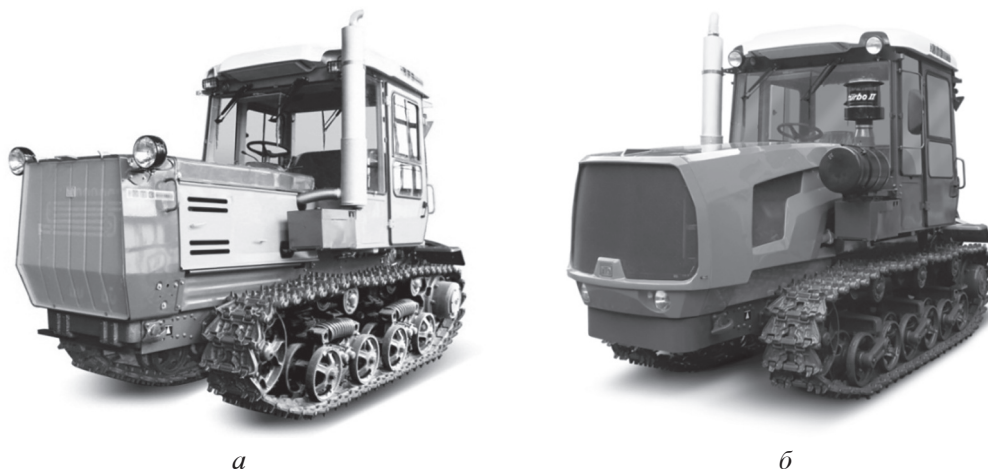


Рис. 9. Тракторы:  
а – Т-150, б – ХТЗ-181

виброускорений пола кабины трактора практически не зависит от типа подвески.

### Вывод

Мировые тренды развития и научно-технические решения проблемы переуплотнения почвы движителями сельскохозяйственной техники и экологической безопасности почвенно-растительного покрова – это дальнейшее создание и развитие автоматического регулирования в шинах в зависимости от состояния почвенного фона, но без участия оператора, а также дальнейшее усовершенствование движителя в виде колесо – гусеница, разработка новых конструкций независимой торсионной подвески и усовершенствование конструкции резиноармированной гусеницы. Создание и производство резиноармированных гусениц решает проблему увеличения парка гусеничных сельскохозяйственных тракторов, что позволяет оптимизировать количественное соотношение колесных и гусеничных тракторов с учетом природных почвенно-климатических условий и производственной направленности сельхозхозяйств. Применение методов математического моделирования позволяет с высокой достоверностью на стадии проектирования расчетно-теоретическим методом определить инерционно-упруго-демпфирующие характеристики, напряженно деформированного состояния, прочности и долговечности элементов конструкции ходовых систем. Одним из перспективных направлений создания эффективных ходовых систем-машин, как колесных так и гусеничных, является применение адаптивной системы регулирования их упруго-демпфирующих характеристик (регулирование натяжения гусеницы, давления в шинах в режиме реального времени) в зависимости от профиля опорной поверхности.

### Литература

1. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А., Бражников А.А. Воздействие машинных агрегатов на почву и тенденции формирования машинно-тракторного парка // Вестник ЧГАА. 2014. Т. 69. С. 51–54.
2. Канделя М.В., Земляк В.Л. Пути решения переуплотнения почв за счет оснащения тракторов и всей уборочно-транспортной техники резиноармированными гусеницами // Современные научные исследования и инновации. 2018. С. 171–175.
3. Окунев Г.А., Кузнецов Н.А. Последствия влияния на почву тракторов среднего класса при оценке эффективности их использования // АПК России. 2016. Т. 75. С. 89–95.
4. Бойков В.П., Гуськов В.В., Жданович Ч.И. Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Проектирование. Учебное пособие. URL: <http://www.center-exit.ru/redkie-fayli/5231.php> (дата обращения: 17.09.2018).
5. Прядкин В.И., Годжаев З.А. Моделирование взаимодействия высокоэластичной шины с неровностью дороги // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 1. С. 16–18.
6. Русанов В.А. Механико-технологические решения проблемы воздействия движителей полевой техники на почву. 1996. 689 с.
7. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. ВИМ, 1998. 368 с.
8. Гоменюк В.И. Повышение тягово-сцепных свойств колесного трактора класса 1,4 за счет постановки полугусеничного хода в условиях Амурской области. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2011.
9. Камбулов С.И. [и др.] Ходовые системы машинно-тракторных агрегатов и их влияние на качество выполняемых операций // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 11. С. 15–21.
10. Ксеневиц И.П., Шарипов В.М. Тракторы конструкция. URL: <https://www.twirpx.com/file/1391836/> (дата обращения: 17.09.2018).
11. Веселов Н.Б. Вездеходные транспортно-технологические машины. Конструкции. Конструирование и расчет. 2010. С. 315–316.
12. Гусеничные зерно- и кормоуборочные комбайны. Основы теории и конструктивно-технологические устройства. URL: <http://os.x-pdf.ru/20scslskohozyaistvo/298849-5-am-emelyanov-bumbar-kandelya-gyabchenko-shpilev-gusenichnie-zerno.php> (дата обращения: 18.09.2018).
13. Годжаев З.А., Русанов А.В., Прядкин В.И. Научно-техническое решение проблемы переуплотнения почвы сельхозмашинами // Сельскохозяйственные машины и технологии. № 6. С. 30–34.
14. Измайлов А.Ю. [и др.]. Сменный гусеничный движитель колесного транспортного средства. 2017.
15. Протокол № 02-10-07(4010271) Приемочных испытаний шасси полугусеничного на резиноармированных гусеница ШПР 00.00.000. -1. Зеленый Бор. Амурская государственная станция, 2007. 2007.
16. Сысове А.М. [и др.]. Рекомендации по использованию грузовых автомобилей сельскохозяйственного назначения грузоподъемностью до 2 т и от 2 до 5 т в составе технологических адаптеров и внутри технологических процессов / Металлургиздат, 2011.



17. Раймпель И. Автомобильные шасси. Элементы подвески. Машиностроение. 1986. 286 с.
  18. Торсионно-балансирующая подвеска гусеничных тракторов Т-150 и ХТЗ-181. Наши инновации. Гарантия и сервис. ХТЗ Белгород. URL: [http://xtz-belgorod.ru/our\\_innovations/show\\_34/](http://xtz-belgorod.ru/our_innovations/show_34/) (дата обращения: 19.09.2018).
  19. Трояновская И.П. Оценка плавности хода гусеничных тракторов Т-150 с балансирующей и торсионной подвесками // Известия Оренбургского Государственного Аграрного Университета. 2013. № 4 (42). С. 88–90.
- ### References
1. Okunev G.A., Kuznecov N.A., Brazhnikov A.A. Impact of machine units on the soil and trends in the formation of machine-tractor fleet. Vestnik CHGAA. 2014. Vol. 69, pp. 51–54 (in Russ.).
  2. Kandelya M.V., Zemlyak V.L. Ways to tackle soil compaction by equipping tractors and all harvest-transport equipment with rubber-reinforced tracks. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2018, pp. 171–175 (in Russ.).
  3. Okunev G.A., Kuznecov N.A. The consequences of the impact on the soil of middle class tractors in assessing the effectiveness of their use. Apk Rossii. 2016. Vol. 75, pp. 89–95 (in Russ.).
  4. Bojkov V.P., Gus'kov V.V., Zhdanovich CH.I. Mnogocelvye gusenichnye i kolesnye mashiny. Proektirovanie. Uchebnoe posobie. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.center-exit.ru/redkie-fayli/5231.php> (data obrashcheniya: 17.09.2018).
  5. Pryadkin V.I., Godzhaev Z.A. Simulation of the interaction of highly elastic tires with road bumps. Traktory i sel'hozmashiny. 2014. No 1, pp. 16–18 (in Russ.).
  6. Rusanov V.A. Mekhaniko-tekhnologicheskie resheniya problemy vozdejstviya dvizhitelej polevoj tekhniki na pochvu [Mechanical and technological solutions to the problem of the impact of field propulsion on soil]. 1996. 689 p.
  7. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhiteleyami i chffektivnye puti ee resheniya [The problem of soil compaction by propulsion devices and its effective solutions]. VIM Publ., 1998. 368 p.
  8. Gomenyuk V.I. Povyshenie tyagovo-scepnnyh svojstv kolyosnogo traktora klassa 1,4 za schyot postanovki polugusenichnogo hoda v usloviyah Amurskoj oblasti [Increasing the traction characteristics of the wheel tractor of 1.4 class using half-tracked movement in Amur region]. Blagoveshchensk: Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet Publ., 2011.
  9. Kambulov S.I. Suspension systems of machine and tractor units and their influence on the quality of the carried out operations. Traktory i sel'hozmashiny. 2017. No 11, pp. 15–21 (in Russ.).
  10. Ksenevich I.P., SHaripov V.M. Traktory konstrukciya [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.twirpx.com/file/1391836/> (data obrashcheniya: 17.09.2018).
  11. Veselov N.B. Vezdekhodnye transportno-tekhnologicheskie mashiny. Konstrukcii. Konstruirovaniye i raschet [Cross-country transport and technological machines. Constructions. Design and calculation]. 2010, pp. 315–316.
  12. Gusenichnye zerno- i kormoborochnye kombajny. Osnovy teorii i konstruktivno-tekhnologicheskie ustrojstva [Elektronnyj resurs]. URL: <http://os.x-pdf.ru/20sel'skohozyaistvo/298849-5-am-emelyanov-bumbar-kandelya-ryabchenko-shpilev-gusenichnie-zerno.php> (data obrashcheniya: 18.09.2018).
  13. Godzhaev Z.A., Rusanov A.V., Pryadkin V.I. Scientific and technical solution to the problem of soil compaction with agricultural machines. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. No 6, pp. 30–34 (in Russ.).
  14. Izmajlov A.YU. Smennyj gusenichnyj dvizhitel' kolesnogo transportnogo sredstva [Replaceable tracked propulsion device of wheeled vehicle]. 2017.
  15. Protokol № 02-10-07(4010271) Priemochnyh ispytaniy shassi polugusenichnogo na rezinoarmirovannyh gusenica SHPR 00.00.000. -1. Zelenyj Bor. Amurskaya gosudarstvennaya stanciya [Protocol No. 02-10-07 (4010271) Acceptance tests of a semi-tracked chassis on rubberized reinforced tracks PDS 00.00.000. – 1. Zelyonyi Bor. Amur state station], 2007.
  16. Sysove A.M. Rekomendacii po ispol'zovaniyu gruzovyh avtomobilej sel'skohozyajstvennogo naznacheniya gruzopod'emnost'yu do 2 t i ot 2 do 5 t v sostave tekhnologicheskikh adapterov i vnutri tekhnologicheskikh processov [Recommendations for the use of trucks for agricultural purposes with a carrying capacity of up to 2 tons and from 2 to 5 tons as part of technological adapters and within technological processes]. Metallurgizdat Publ., 2011.
  17. Rajmpel' I. Avtomobil'nye shassi. EHlementy podveski [Automobile chassis. Suspension elements]. Mashinostroenie Publ. 1986. 286 p.
  18. Torsionno-balansirnyaya podveska gusenichnyh traktorov Т-150 i HTZ-181. Nashi innovacii. Garantya i servis. HTZ Belgorod [Elektronnyj resurs]. URL: [http://xtz-belgorod.ru/our\\_innovations/show\\_34/](http://xtz-belgorod.ru/our_innovations/show_34/) (data obrashcheniya: 19.09.2018).
  19. Troyanovskaya I.P. Evaluation of the smoothness of motion of caterpillar tractors Т-150 with balance and torsion bar suspension. Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta. 2013. No 4 (42), pp. 88–90 (in Russ.).