

УДК 631.372

**ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ  
ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВЫБОРУ  
КОЛИЧЕСТВА И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ  
КАТКОВ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА  
С РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЕЙ  
И УПРУГОЙ ПОДВЕСКОЙ**

**SUBSTANTIATION OF THE RELEVANCE AND NECESSITY  
OF CONDUCTING RESEARCH ON THE CHOICE  
OF THE NUMBER AND LOCATION OF THE SUPPORT ROLLERS  
OF A TRACKED TRACTOR WITH A RUBBER-REINFORCED  
TRACK AND ELASTIC SUSPENSION**

**Плищ В. Н.**, ст. преп.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь  
V. Plishch, Senior Lecturer,  
Belarusian national technical University,  
Minsk, Belarus

*Проанализированы пути выбора параметров конструкции верхней ветви обвода трактора с резиноармированной гусеницей. Установлена актуальность и показана необходимость выполнения исследований с целью рационального выбора конструктивных параметров свободной ветви за счет подбора количества поддерживающих катков и их рациональной расстановки.*

*The ways of choosing the design parameters of the upper branch of the tractor bypass with a rubber-reinforced track are analyzed. The relevance is established and the need for research is shown in order to rationally select the design parameters of the free branch by selecting the number of supporting rollers and their rational arrangement.*

**Ключевые слова:** *гусеничный трактор, верхняя ветвь, резиноармированная гусеница, упругая подвеска, поддерживающий каток.*

**Keywords:** *crawler tractor, upper branch, rubber-reinforced caterpillar, elastic suspension, supporting roller.*

## ВВЕДЕНИЕ

«Высокий уровень механизации работ в растениеводстве – основа современного агропромышленного производства. Механизованное качественное проведение всех необходимых технологических операций в растениеводстве является базой высоких урожаев и эффективности производства растениеводческой продукции» [1, с. 4]. Поэтому создание современных конкурентоспособных на мировом рынке конструкций гусеничных сельскохозяйственных тракторов, соответствующих всем нормативным и рыночным требованиям, является первостепенной задачей для отечественного тракторостроения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Тракторы эксплуатируются в различных дорожных, полевых и климатических условиях, а также с различными значениями тяговой нагрузки на крюке. При этом они должны обладать универсальностью, т.к. на базе гусеничных сельскохозяйственных тракторов могут создаваться промышленные и мелиоративные модификации. Также на сегодняшний день гусеничные тракторы должны иметь возможность комплектоваться как резиноармированными, так и металлическими гусеницами. При этом одним из основных факторов повышения производительности тракторов является увеличение их рабочих скоростей движения. Однако рост скоростей движения требует применения на гусеничных тракторах упругих подвесок для обеспечения условий работы оператора, снижения вибраций и динамических нагрузок в ходовой системе и тракторе в целом.

«Применение резиноармированных гусениц (РАГ) на сельскохозяйственных машинах (тракторах и комбайнах) отвечает современным тенденциям развития сельскохозяйственного производства и машиностроения. В настоящее время практически все крупнейшие тракторные и комбайновые фирмы : John Deere, корпорация «AGCO», Claas, Case, New Holland и др. ведут опытные разработки и серийный выпуск тракторов и комбайнов с ходовыми системами с РАГ, что позволяет в сравнении с традиционной для западных стран колесной техникой, прежде всего, снизить вредное воздействие на почву, повысить тяговые характеристики и экономичность гусеничных тракторов и обеспечить возможность эффективной работы на тяжелых и переувлажненных почвах» [2]. Также «использование

трактора с РАГ, по сравнению с классическими металлическими гусеницами, позволяет получить значительный экономический эффект» [3, с. 18].

В связи с этим, на ОАО «Минский тракторный завод» (ОАО «МТЗ») «в результате реализации отдельного научно-технического проекта «Создать новую модель гусеничного трактора класса 3 мощностью 134 кВт (180 л.с.) с резинокатковой гусеницей и улучшенными технико-экономическими показателями на базе колесного трактора нового поколения (МТЗ 1522)» [4] был разработан гусеничный трактор «Беларус» 1802 с резиногусеничным двигателем» [5]. В дальнейшем на его основе были созданы гусеничные сельскохозяйственные тракторы тягового класса 4 с РАГ и упругой подвеской «Беларус» 2102 [6] и 2103 соответственно.

Гусеничные тракторы «Беларус» предназначены для проведения различных сельскохозяйственных работ в агрегате с машинами и орудиями, включая выполнение пахоты и рыхления на средних и тяжелых почвах, внесение удобрений и химикатов, почвообработки, боронования, закрытия влаги, посева, посадки, транспорта и прочих видов работ общего и сельскохозяйственного назначения на почвах с низкой несущей способностью (переувлажненных почвах).

Основными технико-экономическими показателями гусеничных сельскохозяйственных тракторов являются производительность (выработка, га/ч) и экономичность работы (расход топлива, кг/га).

«Результаты испытаний опытных образцов тракторов «Беларус» 2103 с РАГ канадской фирмы «Soucy», полученные при выполнении пахотных работ с восьмикорпусным плугом, показали производительность 3,87 га/час и расход топлива 9,64 кг/га, что на 2,7 кг/га меньше, чем при пахоте колесным трактором «Беларус» 2522 и на 9 кг/га – трактором К-701» [7]. При работе трактора с РАГ «Фермер РБ-2103» в агрегате с тяжелой дисковой бороной и глубокорыхлителем Horsh Tiger МТ 3 производительность составила 3,9 – 4,2 га/час и расход топлива 6,4 – 8,3 кг/га [8].

По данным В. М. Шарипова «РАГ начинают находить все более широкое применение в современных тракторах благодаря следующим положительным качествам: высокой долговечности (до 6000 ч), примерно в два раза больше по сравнению с гусеницами с открытыми металлическими шарнирами; возможностью выполнения трактором транспортных работ на асфальтовом и бетонном по-

крытиях без их разрушения; меньшим на 25–30 % уплотняющим воздействием на почву при одинаковой ширине с металлическими гусеницами; возможностью установки РАГ на серийный гусеничный трактор без переделки конструкции движителя» [9, с. 582–583]. С использованием систем подрессоривания на гусеничных сельскохозяйственных тракторах их скорость движения при выполнении различных видов транспортных технологических операций повысилась до 30 км/ч [5] и на перспективных тракторах с РАГ предполагается ее увеличение до 45 км/ч [10], по данным [11] применение РАГ может обеспечить «повышение транспортных скоростей машины до 40–50 км/ч».

По результатам сравнительных испытаний сельскохозяйственных тракторов с РАГ и металлическими гусеницами установлено, что «по комплексу технических показателей (вибронгруженность, уровень шума и проходимость) ходовые системы с РАГ превосходят ходовые системы с металлическими гусеницами с обычными металлическими шарнирами» [12]. Также «применение РАГ в составе сельскохозяйственных тракторов обосновано полномасштабными эксплуатационными испытаниями трактора Агромаш-150 ТГ, включая тяговые испытания, исследования уровня шума, вибронгруженности и уплотняющего воздействия на почву» [10]. По результатам испытаний ресурс ходовой системы с РАГ составил 6000 моточасов [10].

«Таким образом, применение тракторов с РАГ является одним из перспективных направлений повышения эффективности полевых работ агропромышленного производства» [8].

Согласно основным направлениям развития механизации сельского хозяйства в Республике Беларусь «одним из концептуальных признаков сельхозмашиностроения является рациональное ограничение номенклатуры технических средств, сокращение металло- и энергоемкости путем создания оптимальных типоразмерных рядов, агрегатной унификации и универсализации» [13]. Поэтому, в связи с применением на тракторах РАГ, упругих подвесок и ростом их скоростей движения возникла необходимость в обоснованном выборе конструктивных параметров гусеничного движителя формирующих верхнюю ветвь гусеничного обвода трактора с РАГ и упругой подвеской.

Однако в случае применения на гусеничных сельскохозяйственных тракторах упругих подвесок и РАГ свободная ветвь при движении трактора с высокой скоростью в пролетах между поддерживающими катками начинает колебаться со значительной амплитудой. Это приводит к ухудшению устойчивости РАГ на ведущем колесе, ограничивает скорость движения трактора и возникает вероятность сброса гусеницы, т.е. потеря работоспособности гусеничного трактора. «В связи с этим необходимость стабилизации свободно провисающих ветвей быстроходных обводов стала одной из актуальных задач при создании новых машин или модернизации существующих. Решение такой задачи возможно только в результате выявления основных закономерностей процесса поперечных колебаний, их зависимости от конструктивных параметров обвода и различных эксплуатационных факторов» [14, с. 72].

Выполнение гусеничным трактором «Беларус» 1802 энергонасыщенных операций (пахота) показала, что в верхней ветви трактора возникают колебания РАГ со значительной амплитудой, существует вероятность возникновения резонансных режимов колебаний, иногда происходила потеря устойчивости РАГ на ведущем колесе (сброс гусеницы). Основной причиной являлось изменение геометрии гусеничного обвода трактора в процессе его работы. При этом, значительное влияние на изменение длины гусеничного обвода оказывали РАГ и упругая подвеска. За счет приведенных факторов изменялись силовые и геометрические параметры в свободной ветви обвода трактора что приводило к появлению вышеуказанных явлений. Как показал опыт эксплуатации трактора «Беларус» 1802 обеспечить работоспособность гусеничного движителя с РАГ и упругой подвеской можно за счет правильного выбора рационального предварительного статического натяжения РАГ и соответствующих длин пролетов в верхней ветви движителя при определенных усилиях в рабочей и свободной ветвях трактора с учетом РАГ и упругой подвески. Конструктивно это можно обеспечить за счет правильного выбора количества и расположения поддерживающих катков. В свою очередь с увеличением числа поддерживающих катков повышаются масса трактора, величина затрачиваемой мощности на их вращение в зависимости от скорости движения с учетом контактного взаимодействия с РАГ и расход топлива при различных режимах движения трактора.

Известно, что на процесс колебаний РАГ в верхней ветви существенное влияние оказывает натяжение гусеницы, ее удельный вес и длина пролета между поддерживающими катками. Натяжение РАГ в свободной ветви изменяется в диапазоне от своего минимального значения, определяемого устойчивостью гусеницы на ведущем колесе, до предварительного статического натяжения РАГ. Для его определения используют методику, предложенную В. Ф. Платоновым [15, с. 32–36]. Однако она не учитывает упругой характеристики подвески трактора и конструктивных особенностей РАГ при растяжении что существенно сказывается на результатах выбора основных массогеометрических параметров движителя гусеничного трактора. Результаты испытаний гусеничных сельскохозяйственных тракторов «Беларус» с РАГ и упругой подвеской показали, что величины предварительного натяжения гусеницы, задаваемого как для металлических гусениц с обычным металлическим шарниром, для которых оно обычно не превышает 8 кН [16, с. 181], недостаточно для обеспечения работоспособности гусеничного движителя трактора с РАГ, т.к. происходит сбрасывание гусеницы при высоких тяговых нагрузках в режиме трогания трактора либо движении с малой скоростью. Для его определения используют методики, которые также не учитывают упругой характеристики подвески трактора и конструктивных особенностей РАГ при растяжении [16, с. 181]. При этом в работе [16, с. 182] отмечено, что «повышение статического натяжения вызывает также увеличение расхода топлива. При снижении статического натяжения в жестком обводе с 5 до 3 кН расход топлива уменьшается на 10 – 15 % (в зависимости от скорости движения). При снижении натяжения в упругом обводе с 15 до 5 кН расход топлива уменьшается на 15–20 %. Однако реализовать эту экономию у машин с упругими обводами практически невозможно, так как при натяжении 5 кН провисание ветви перед передним опорным катком на повышенных скоростях движения становится столь значительным, что создается опасность схода катка с беговой дорожки гусеницы (сбрасывание гусеницы)». Поэтому в работе [17] на основании проведенных исследований показана целесообразность регулирования натяжения гусениц. «При проведении сравнительных испытаний по укатанным заснеженным дорогам было также установлено, что использование разработанного механизма натяжения повышает устойчивость ра-

боты гусеничных лент, в особенности на высоких скоростях движения, снижает расход топлива в среднем на 4 %» [17].

«Наиболее нагруженной деталью РАГ является зона между закладными элементами и армированием тросами» [18]. Основным видом отказов РАГ является образование трещин между закладными элементами в резиновом слое гусеницы. «РАГ имеют средний ресурс работы около 3000 моточасов (максимальный ресурс до 6000 моточасов) при соблюдении заданного технологического процесса их изготовления» [19]. «Необходимо также отметить, что дальнейшее совершенствование конструкции гусениц, в том числе рецептур резин и армирующих материалов, а также соблюдение оптимального технологического процесса их изготовления позволит предупредить появление и развитие трещин. Основным отказом гусениц в эксплуатации в таком случае станет их постепенный абразивный износ» [19]. Также Р. С. Федоткиным предложены расчетно-экспериментальные методы определения нагруженности и долговечности РАГ тракторов, однако они направлены на выбор параметров и оптимизацию конструкции РАГ на стадии проектирования [20]. Из этого следует, что основные конструктивные параметры РАГ определяются ее прочностными свойствами и ресурсом в эксплуатации. Поэтому выбирать параметры колебательных процессов в верхней ветви движителя трактора за счет изменения удельного веса РАГ неэффективно.

Наиболее целесообразным способом влияния на колебательные процессы в верхней ветви движителя трактора с РАГ является обоснованный выбор длин пролетов между поддерживающими катками. В настоящее время на гусеничных сельскохозяйственных тракторах с металлическими гусеницами принято, как правило, из конструктивных соображений применять две пары поддерживающих катков и теоретического обоснования данный подход не имеет [21, с. 338].

Поэтому, в связи с применением на тракторах РАГ необходимо разработать методику по определению количества поддерживающих катков в движителе ходовой части гусеничного трактора и их рационального размещения. При этом необходимо учесть упругую характеристику подвески трактора с возможностью ее блокировки. В качестве критерия по выбору параметров следует рассмотреть смещение резонансного режима колебаний РАГ в верхней ветви обвода трактора за рабочий интервал его движения с учетом харак-

теристики РАГ при растяжении, упругой характеристики подвески, растягивающих усилий в обводе движителя и рационального предварительного статического натяжения РАГ. Это позволит выбирать оптимальные конструктивные параметры движителя трактора на этапе проектирования с учетом режима работы подвески, скорости движения трактора и обеспечить устойчивость РАГ на ведущем колесе и работоспособность гусеничного трактора.

В связи с этим возникла необходимость проведения исследований в этой области, которые заключаются в разработке теоретических зависимостей по определению растягивающих усилий и предварительного статического натяжения РАГ трактора при трогании и в движении, на их основе установлению рациональных значений предварительного натяжения с учетом конструктивных особенностей гусеничного движителя с РАГ и условий эксплуатации трактора, установлению, анализу и определению резонансных режимов колебаний верхней ветви гусеничного движителя и разработке рекомендаций по совершенствованию конструкции гусеничного движителя трактора с РАГ при условии, что резонансный режим колебаний верхней ветви будет находиться за эксплуатационным режимом движения трактора с целью снижения затрат мощности и металлоемкости резиногусеничного движителя, повышения технико-экономических показателей и конкурентоспособности гусеничных сельскохозяйственных тракторов с РАГ на мировом рынке. Решить данную проблему можно за счет рационального выбора количества и расположения поддерживающих катков путем проведения анализа за колебаний верхней ветви гусеничного трактора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с этим научно обоснованные пути выбора количества и расположения поддерживающих катков с использованием анализа колебаний РАГ в верхней части гусеничного движителя трактора при различных режимах работы подвески являются актуальными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инновационные направления развития сельскохозяйственной техники : учеб.-метод. пособие / В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – 156 с.

2. Исследование напряженно-деформированного состояния резиноармированных гусениц (РАГ) методом конечных элементов. Часть 1. Описание конструкции и моделирование / А. М. Толстов [и др.] // Каучук и резина. – 2013. – № 2. – С. 68–70.

3. Бухаровская, А. Н. Тягово-сцепные свойства и уплотняющее воздействие на почву трактора с резиноармированными гусеницами : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. Н. Бухаровская ; ФГБОУ ВПО «Московский гос. ун-т природообустройства». – М., 2011. – 19 с.

4. Бойков, В. П. Опыт создания гусеничного трактора «БЕЛАРУС 1802» / В. П. Бойков, Ч. И. Жданович, В. А. Коробкин // Авто-тракторный факультет на рубеже столетий : сб. докладов / УП «Технопринт» ; под ред. Н. М. Капустина. – Минск, 2002. – С. 9.

5. Коробкин, В. А. Гусеничный трактор общего назначения «Беларус 1802» / В. А. Коробкин // Междунар. аграр. журн. – 2001. – № 9. – С. 46–48.

6. Коробкин, В. А. Первый отечественный гусеничный трактор «Беларус» / В. А. Коробкин, В. К. Папка // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 10–12.

7. Коробкин, В. А. Становление и развитие научно-конструкторской школы проектирования специальных машин на Минском тракторном заводе / В. А. Коробкин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3. – С. 203–207.

8. Гайнуллин, И. А. Эксплуатационные показатели агрегата на базе трактора с резиноармированными гусеницами / И. А. Гайнуллин // Агропромышленный комплекс : проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф., Благовещенск, 20–21 апр. 2023 г. : в 3 т. / Дальневосточный гос. аграр. ун-т ; ред. : П. В. Тихончук [и др.]. – Благовещенск, 2023. – Т. 2. – С. 44–49.

9. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов : учеб. для вузов / В. М. Шарипов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2009. – 752 с.

10. К вопросу создания отечественного гусеничного трактора для современного сельскохозяйственного производства / В. М. Шарипов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 2. – С. 17–25.

11. Сравнение тяговых показателей и долговечности гусеничных движителей сельскохозяйственных тракторов / Н. А. Щельцын [и др.] // Известия МГТУ «МАМИ». – 2017. – № 4 (34). – С. 76–82.
12. Сравнение основных показателей гусеничных движителей с.-х. тракторов / Д. Г. Купрюнин [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 9. – С. 16–20.
13. Самосюк, В. Г. Направления развития механизации сельского хозяйства в Республике Беларусь / В. Г. Самосюк, В. В. Азаренко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2007. – № 4. – С. 93–100.
14. Платонов, В. Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя / В. Ф. Платонов. – М. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
15. Гусеничные транспортеры-тягачи / В. Ф. Платонов [и др.] ; под ред. В. Ф. Платонова. – М. : Машиностроение, 1978. – 351 с.
16. Платонов, В. Ф. Гусеничные и колесные транспортно-тяговые машины / В. Ф. Платонов, Г. Р. Леиашвили. – М. : Машиностроение, 1986. – 296 с.
17. Барахтанов, Л. В. Исследование регулирования натяжения гусеничных цепей при движении машины по снежной целине и укатанным заснеженным дорогам / Л. В. Барахтанов, С. Е. Манянин, П. Е. Дмитриев // Транспортные системы. – 2016. – № 1. – С. 1–9.
18. Исследование напряженно-деформированного состояния резиноармированных гусениц (РАГ) методом конечных элементов. Часть 2. Результаты исследования / А. М. Толстов [и др.] // Каучук и резина. – 2013. – № 2. – С. 72–74.
19. Пути повышения срока службы резиноармированных гусениц / В. Д. Бейненсон [и др.] // Каучук и резина. – 2015. – № 6. – С. 28–31.
20. Федоткин, Р. С. Расчетно-экспериментальные методы оценки нагруженности и долговечности резиноармированных гусениц сельскохозяйственных тракторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Р. С. Федоткин ; ОАО «Научно-исслед. ин-т стали». – М., 2015. – 24 с.
21. Анилович, В. Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов : справ. пособие / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко ; под ред. проф. Б. П. Кашубы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 456 с.