

Напрями підвищення ефективності роботи гусеничних рушіїв

Р.В. Зінько, кандидат технічних наук
Національний університет “Львівська політехніка”

Визначено напрями і способи підвищення ефективності роботи гусеничних машин та їх гусеничних рушіїв. Вдосконалення і дослідження, пов'язані з ними, доцільно проводити курсом розчленування або модульності машини, а також таких режимів руху, як розгойдування і хвильовий рух. Актуальними є дослідження, пов'язані з впливом конструктивних складових тракторів на прохідність, плавність, надійність.

Гусеничні машини в позадорожніх умовах експлуатації характеризуються такими показниками, як прохідність, продуктивність, маневреність, тягово-зчіпні якості, зручність і надійність роботи. Багатоприводні автомобілі і автопоїзди, навіть за наявності чотирьох–п'яти тягових мостів, не можуть забезпечити в умовах бездоріжжя таку ж реалізацію тягових якостей, як гусеничні машини. При цьому складність і громіздкість активного приводу до коліс нівелює таку важливу перевагу автомобіля, як простота конструкції. Тому є доцільним розробляти нові і модифікувати існуючі конструкції транспортних засобів з приводом від гусеничного рушія. Він є одним з найважливіших механізмів, що визначають тягові якості, продуктивність, ощадливість і надійність всіх цих машин. Вдосконалення конструкції рушія, вибір оптимальних параметрів, раціональне поєднання характеристик окремих його елементів, розробка більш досконалої схеми приводу і форми обводу гусениць являють відповідальний етап під час створення або модернізації гусеничних машин.

Створення надійного, ощадливого, екологічного гусеничного рушія є складною науково-технічною проблемою. Вона обумовлена важким режимом роботи рушія, що піддається абразивній дії ґрунту, високими динамічними навантаженнями, змінністю геометрії і кінематики ободу, особливо по бездоріжжю. Підвищення ККД можна досягнути зменшенням механічних втрат у рушієві, збільшенням ощадливості машини, підвищенням ґрунтозбереження, енергоємності транспортного засобу, зменшенням його маси, динамічної навантаженості гусеничного рушія і підвищенням надійності.

На основі поглибленого аналізу наукових літературних джерел з функціонування гусеничних машин і патентних документів з конструкції їх рушіїв дозволив визначити напрями подальших досліджень гусеничного рушія, орієнтованих на підвищення ефективності його роботи, та функціонування гусеничної машини в цілому й стало **метою нашого дослідження**.

Аналіз існуючих публікацій. Істотне вдосконалення гусеничного рушія можливе тільки на базі глибоких теоретичних і експериментальних досліджень.

Теорія гусеничного рушія була в основному розроблена професорами А.С. Антоновим [1], Е.Д. Львовим [2], Л.В. Сергеевим, А.О. Никітіним [3], В.Ф. Платоновим [4] та ін. Вона достатньо висвітлює питання кінематики нерозтяжного обводу, кочення опорного котка по рівній основі, втрати потужності в рушієві і взаємодії опорної гілки з ґрунтом.

Інші дослідники розглядають і теоретичні питання роботи гусеничного рушія, і практичні, аналізуючи втрати потужності в рушієві, довговічність гусеничного рушія, динаміку взаємодії гусениць з напрямними і опорними котками, тяговим колесом, стійкість обводу тощо [5, 6].

Гусеничні транспортні засоби під час руху по слабонесучих ґрунтах (наприклад пухкому снігу) провалюються в ґрунт на глибину, що перевищує дорожній просвіт. Як наслідок, з'являється “бульдозерний ефект” не тільки для гусениць, а й для частини днища кузова, створюючи при цьому додатковий опір пересуванню. Значне перевищення опору призводить до буксування рушія і повної зупинки транспортного засобу. Отже, прохідність гусеничних транспортних засобів по глибокому снігу визначається перш за все дорожнім просвітом і глибиною колії. Чим менша глибина колії, транспортних засобів і більший дорожній просвіт гусеничної машини, тим вища її прохідність.

Глибина колії зменшується у разі:

- ◆ зниження найбільших і середніх значень тиску, що діє в плямі контакту,
- ◆ збільшення несучої здатності опорної площі плями контакту;
- ◆ скорочення періоду часу взаємодії ходових частин з ґрунтом і зменшення товщини шару, що стискається [7].

Зменшення товщини стиснутого шару ґрунту і збільшення несучої здатності опорної площі плями контакту пов'язані зі зміною властивостей самого ґрунту. Скорочення часу взаємодії гусениці з ґрунтом відбувається з підвищенням швидкості трактора, а це вимагає збільшення питомої потужності силових агрегатів, до збільшення маси і ускладнення конструкції гусеничної машини. Тому найлегше здійсненним і поширеним способом зменшення глибини колії є зниження максимальних і середніх значень тиску, що діє в плямі контакту. Це досягається збільшенням площі опорної поверхні, тобто за рахунок збільшення геометричних параметрів рушія, шляхом застосування розширених ланок і подовжених гусениць, безшарнірних гумово-металевих гусениць, пневмогусениць різної конструкції. Проте у цього способу є істотний недолік: зі збільшенням площі опори зменшується зчеплення елементів рушія (траками гусениці) з ґрунтом і, як наслідок, з'являється тенденція до пробуксовування.

Сила тяги гусеничної машини є “рівнодіючою реакцій ґрунту на зрушення траками гусениці” [7]. Збільшення розмірів площі опори спричиняє розподіл маси гусеничної машини по більшій поверхні ґрунту, що мають менший опір зрушенню. Допустиме горизонтальне навантаження зростає із збільшенням щільності [8], а в разі збільшення щільності снігу в середньому в 4,3 рази допустиме горизонтальне навантаження на сніг зростає у 24 рази. Тому ущільнення снігу під опорною поверхнею рушія позитивно впливає на збільшення зчеплення.

Для збільшення щільності снігу під опорною поверхнею гусениці пропонується використовувати вібраційне ущільнення сніжного покриву рушієм при русі транспортного засобу [9]. Такий вид ущільнення дозволяє створити шар ґрунту безпосередньо під опорною поверхнею рушія, який володіє достатніми для руху зчіпними властивостями. Вібраційне ущільнення сніжного шару має більший ефект, ніж за статичного ущільнення, оскільки сніжні частинки, приведені в коливальний рух, зміщуються щодо одна до одної та найбільш інтенсивно заповнюють порожнечі, що є між ними.

Конструктивно процес вібраційного ущільнення можливо здійснити різними способами: примусовою вібрацією опорних котків гусениці, застосуванням вібруючої балки з котками або опорних котків з ексцентриситетом осі обертання.

Спосіб ущільнення ґрунту з використанням вібруючих котків дозволяє використовувати котки, коливання яких знаходяться в певній залежності від коливань сусідніх котків. За такого способу з'являється можливість управляти вібраційними деформаціями гусеничної стрічки, що створює оптимальні умови для руху транспортної машини. Такий спосіб вібрації опорної гідки утворює "хвилі деформації" гусеничної стрічки, що позитивно впливає на зчеплення і на прохідність транспортної машини в цілому.

Наявність вібрації опорної гідки гусеничної стрічки інтенсифікує процес занурення ґрунтозачепов рушія в ґрунт, оскільки вібраційне занурення трака гусениці в ущільнений сніг протікає з меншими енергетичними витратами.

Для підвищення прохідності можна використовувати хвилеподібний рух гусеничної розчленованої машини [10]. Варіант розчленування доцільно використовувати також при рушанні та гальмуванні [11].

Щоб здійснити хвилеподібний рух двох ланок, необхідно змінити напрям сил, що діють між ланками, і одночасно співвідношення сил зчеплення ланок з опорною поверхнею. Періодичним повторенням описаної процедури забезпечується крокове переміщення обох ланок по опорній поверхні, коли рухома ланка в кожен момент часу рухається, спираючись на нерухому.

Наявність рухомого елемента G в базі гусеничної розчленованої машини дозволяє змінювати положення центра ваги машини і відповідно величину тиску на опорну поверхню.

Експерименти НАТІ [12–14] показали, що зі зміною тиску на ґрунт дуже знижується приріст питомого опору оранки. По сліду трактора Т-150 він у 4,34 раза менше, ніж по сліду трактора К-150К, при цьому продуктивність праці в 1,18–1,4 раза більша, а погектарна витрата палива знижується відповідно в 1,38–1,07 раза. У середньому по всіх видах робіт продуктивність МТА з допустимим тиском на ґрунт зростає в 1,27 раза, а витрата палива знижується в 1,22 раза (економія до 4000 кг палива на рік тільки однією машиною).

У роботі з великими тяговими зусиллями перекидний момент від тягового опору знярядь приводить до перерозподілу навантажень на опорні котки: передні – розвантажуються, задні – довантажуються. Тому в більшості гусеничних тракторів, що працюють із задніми зняряддями, центр ваги зміщений вперед від середини опорної поверхні або встановлені передні

вантажі, які використовуються за важких умов роботи, оскільки найбільший ККД спостерігається за рівномірного розподілу навантажень по опорних котках.

Самохідний гусеничний транспортний засіб [15] містить корпус, забезпечений пристроєм зміни центра мас транспортного засобу у вигляді поворотної в подовжній площині машини штанги. Така конструкція машини дозволяє істотно підвищити її виробничі властивості. Зокрема, поліпшується рухливість на ґрунтах з підвищеною адгезією, зменшуючи ефект присмоктування траків до ґрунту, за рахунок додання останньому поперечних коливань у момент їх знаходження на ґрунті. Ця ж конструкція зменшує енерговитрати на поворот машини шляхом підведення зовнішніх кінців перших траків гусеничного ланцюга відстаючого борту, а також їх розвантаження за рахунок зсуву центра мас на корму. Крім того, конструкція відрізняється граничною простотою порівняно з відомими гусеничними машинами, обладнаними системою підресорювання.

З конструктивних параметрів ходової системи, що найбільше впливають на тягові якості рушія, є довжина опорної поверхні гусениць, число опорних котків і крок гусеничного ланцюга. Збільшення значень цих параметрів сприяє підвищенню ККД ходової системи завдяки зниженню опору коченню і буксуванню. Цим пояснюються конструктивні особливості болотохідних тракторів і збільшений крок гусениць на промислових тракторах.

Збільшення ширини гусениці сприяє підвищенню тягових якостей тільки на слабких, легкодеформованих ґрунтах (болота, сніжна цілина, піски). На ґрунтах і ґрунтах середньої і високої щільності збільшення ширини гусениці ефекту не дає, оскільки призводить до зростання маси ходової системи, а отже, і до підвищення втрат на тертя, погіршує заглиблення ґрунтозачепів і збільшує буксування. У результаті ККД знижується.

За незмінної довжини опорної поверхні збільшення числа опорних котків сприяє зростанню ККД ходової системи на легкодеформованих ґрунтах. На щільних ґрунтах кращі показники має ходова система з меншим числом опорних котків більшого діаметра, що пояснюється зменшенням опору коченню і кращим заглибленням ґрунтозачепів під опорними котками.

Для роботи з мінімальними втратами потужності важливе значення має натяг гусениці. Недостатній натяг спричиняє погіршення розподілу тиску на ґрунт і підвищення її деформації, спадання гусениці з опорних котків, а надмірне – зростання втрат на тертя і прискорене зношення шарнірів.

Зі всіх типів підвісок найбільш високі тягові якості забезпечує пружна індивідуальна система підресорювання опорних котків завдяки більш рівномірному розподілу тиску на ґрунт.

Ходові системи тракторів у ґрунті утворюють ущільнені зони, викликаючи нерівномірний розподіл вологи, що, як довели дослідження, проведені в США, Швеції, Японії, знижують урожайність сільськогосподарських культур на 20–35 %. При цьому великий вплив на ущільнення ґрунту має максимальний питомий тиск. Для більшості ґрунтів допустимий тиск становить 39–49 кПа, граничний – 98–147 кПа, а фактично трактори створюють тиск 294–420 кПа [15].

Має значення і розподіл тиску по довжині опорної поверхні гусениці в разі використання навісного технологічного обладнання [16–17]

Установка гумоармованої гусениці на серійну ходову систему [18] призводить до зниження максимального тиску і ущільнюючої дії на ґрунт (30 %). Незважаючи на деяке збільшення маси, коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску рушія з гумоармованою гусеницею в 1,72–2,02 рази нижче, ніж серійного. При цьому поліпшується ергономіка машин, забезпечується асфальтоходність і знижується техногенна дія на ґрунт до екологічно безпечного рівня. Застосування торсіонно-балансирної підвіски сприяє зниженню дії на ґрунт у 2,5 рази. Її тиск ($P = 73,1$ кН/м) знаходиться нижче небезпечної для ґрунту межі ($P = 75$ кН/м).

Дрібноланкові гусениці нерівномірно навантажують опорну поверхню. Тиск в основному створюють тільки ті ланки, які в даний момент часу знаходяться під осями опорних котків, а також частина поверхні примикаючих ланок [19]. Вимірювання тиску гусениць трактора ТДТ-55 по довжині контактної поверхні, залежно від вологості суглинку, швидкості руху і зусилля на гаку, показує, що в передачі навантаження бере участь основна ланка і приблизно $\frac{1}{3}$ площі примикаючих ланок.

Зі збільшенням навантажень на котки або вологості росте деформація суглинку; ланки, що знаходяться під котками, глибше занурюються і тиск починають передавати більше число цих ланок [20]. Тиск активно-опорних ділянок гусениць зменшується, але росте об'єм ґрунту, що знаходиться в напруженому стані.

На підставі експериментальних даних доведена наявність інтенсивних вібрацій корпусу трактора, що відбуваються з “траковою” частотою, причиною яких є взаємодія гусеничного ланцюга з елементами ходової системи і ґрунтом. Зменшення довжини ланки гусениці дозволяє наблизитися до оптимальних параметрів тягової ділянки гусениці. Проте збільшення трака за рахунок його зношування призводить до значного підвищення вібрації, тоді як за стандартної гусениці (0,17 м) цього не відбувається.

Накладення знакозмінної складової на постійну нормальний тиск на ґрунт ходовою частиною збільшує повзучість ґрунту (віброповзучість) [21]. Аналогічно за наявності вібрації збільшується і релаксація ґрунту. На 20–30 % під впливом вібрації знижується опір деформації зв'язних ґрунтів вологістю вище за межу пластичності. Для незв'язних ґрунтів вібрація не робить істотного впливу на опір їх деформації [22].

Ступінь впливу вібрацій на зменшення опору ґрунту деформаціям залежить від гранулометричного складу ґрунту, а також від інтенсивності і частотного спектра вібрації. Застосування гусениць з гумометалевими шарнірами, опорних котків з масивною зовнішньою шиною, гусениці з прогумованою біговою доріжкою зменшить вібраційну складову дії гусеничного рушія на ґрунт і поліпшить його несучу здатність.

Низькочастотна складова знакозмінної дії на ґрунт, обумовлена коливаннями корпусу, накладаючись на постійну складову нормального тиску, знижує несучу здатність рушія, оскільки істотно збільшує максимальний

питомий тиск. Поява додаткової динамічної дії на ґрунт може бути обумовлена коливаннями корпусу не тільки при русі по нерівностях, але і від появи інерційних сил у разі уповільнення або розгону, перемикання передачі з розривом потоку потужності. Величина динамічної складової визначатиметься параметрами плавності ходу, що забезпечуються системою підресорювання. Поліпшення показників плавності ходу досягається зменшенням приведеної жорсткості підвіски, збільшенням динамічних ходів котків, застосуванням амортизаторів підвіски. Проте зменшення приведеної жорсткості підвіски, знижуючи динамічну складову тиску на ґрунт при русі по нерівностях, погіршує її з уповільненням і розгоном машини, оскільки підвищується схильність машини до “клювків”. Крім того, із зменшенням приведеної жорсткості підвіски за незмінного статичного натягнення обводу погіршується статика навантаження опорних котків.

Кращі тягові властивості мають зчленовані гусениці з ущільненнями і змащенням шарнірів, а також гусениці з гумометалевими шарнірами [23]. Це пояснюється постійністю кроку гусениці, що забезпечує мінімум втрат у зачепленні з тяговим колесом, зниженим тертям у шарнірах, а також більш рівномірним розподілом тиску на ґрунт за наявності пружних моментів у шарнірі.

Оптимальна форма ґрунтозачепів ланки гусениць – розчленований ґрунтозачіп зі зростаючим до країв кутом між кромкою і віссю шарніра [24].

Висновки

1. Розроблено теорію гусеничного рушія, яка порушила й питання кінематики нерозтяжного обводу, кочення опорного котка по рівній основі, втрат потужності в рушієві і взаємодії опорної гілки з ґрунтом. Були розглянуті проблеми довговічності гусеничного рушія, динаміки взаємодії гусениць з напрямними і опорними котками, тяговим колесом, стійкості обводу та ін.

Разом з тим не виявлено досліджень з такими режимами руху, як застрягання трактора (його рух з розгойдуванням), хвильовий рух секцій розчленованої гусеничної машини.

2. Експериментально досліджено вплив тиску на ґрунт гусеничної машини і його взаємозв'язок з питомим опором оранки. Важливими є дослідження впливу конструкції ходової системи на характеристики ґрунту і відповідно на врожайність. Але такі дослідження проведені не для всіх поширених варіантів конструкцій.

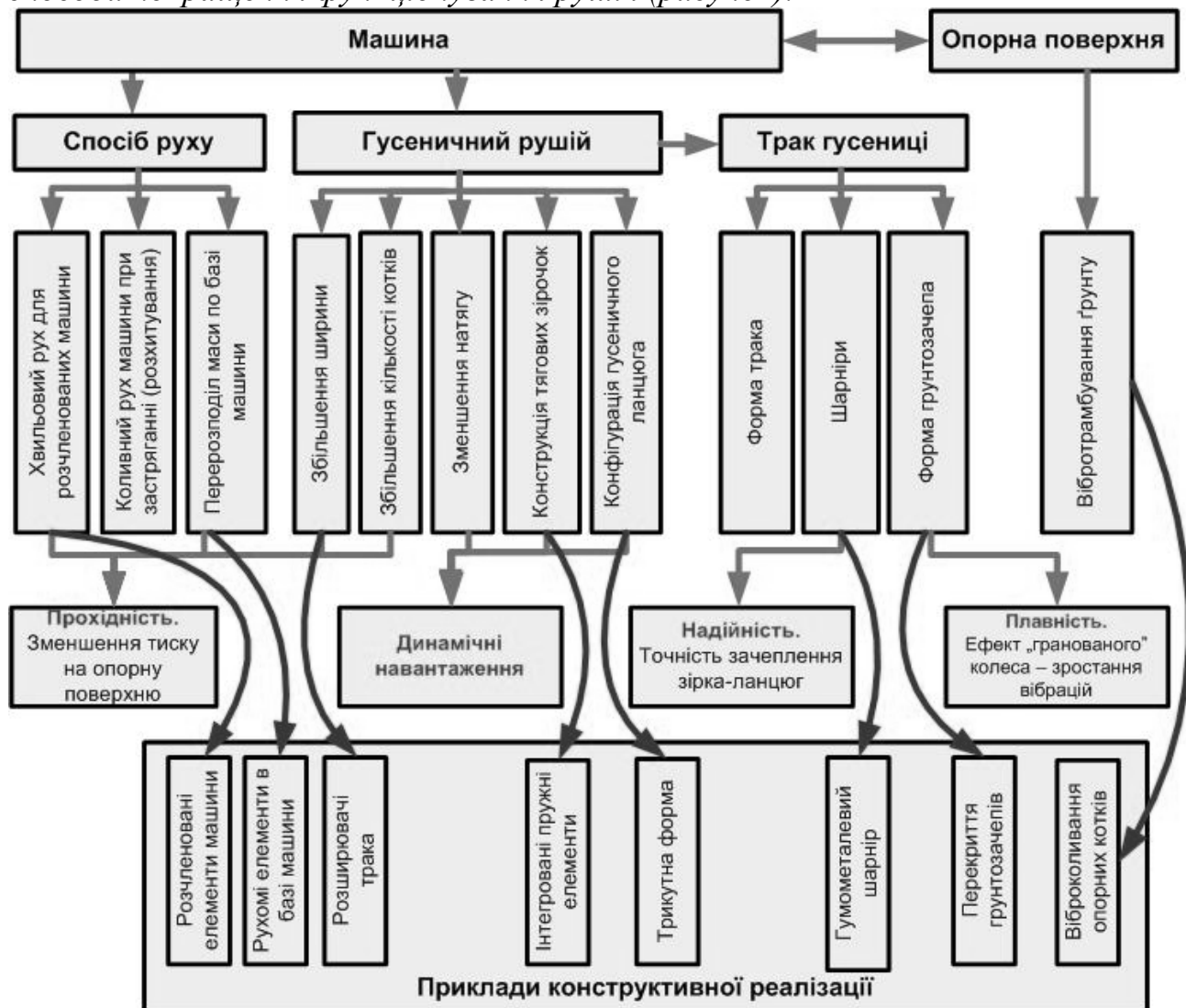
3. Проаналізовано процес навантаження подошви гусеничної ланки (трака). Але не наведено аналітичних залежностей для конструкторських обрахунків.

4. Встановлено наявність вібрацій корпусу трактора, що відбуваються з “траковою” частотою, причиною яких є взаємодія гусеничного ланцюга з елементами ходової системи і ґрунтом. Але відсутній математичний опис цього процесу.

5. Для деяких із встановлених та виявлених проблем запропоновано

конструктивне вирішення на рівні винаходів та патентів, але не доведено ефективність цих розробок.

На основі проведеного огляду літературних джерел, пов'язаних з удосконаленням роботи гусеничних машин, можна також запропонувати певні способи покращення функціонування рушії (рисунок).



Можливі способи покращення ефективності роботи гусеничного рушії

Конструктивними прикладами може бути використання модульної компоновки або багатосекційності машини. Це дозволяє ефективно використовувати потужність силової установки в перехідних режимах руху (розгін, гальмування) і важких умовах експлуатації: низька несуча здатність ґрунту, застрягання. Варіантом покращення прохідності є використання еластичних розширювачів траків. Наявність еластичності підвищує ефективність роботи машини. Використання пружних елементів у зірочках зменшує динамічні навантаження в трансмісії, покращує плавність руху машини. Застосування гумометалевих шарнірів зменшує їх зношення і покращує точність взаємодії елементів "трак-тягова зірочка". Перекриття ґрунтозачепом одного трака ґрунтозачепа наступної ланки дозволить усунути

ефект “гранованого колеса”, підвищити плавність руху, зменшити динамічні навантаження на гусеничний рушій. Вібровтрамбовування ґрунту в колії руху гусеничної машини підвищує прохідність.

Бібліографія

1. Антонов А.С. Теория гусеничного движителя / А.С. Антонов. – М. : Машгиз, 1949.– 354 с.
2. Львов Е.Д. Теория трактора / Е.Д. Львов. – М. : Машгиз, 1960. – 252 с.
3. Никитин А.О. Теория танка / Никитин А.О., Сергеев Л.В. – М. : Издание академии БТВ, 1962. – 578 с.
4. Гусеничные транспортеры-тягачи / под ред. В.Ф. Платонова. – М. : Машиностроение, 1978. – 145 с.
5. Платонов В.Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя / В.Ф. Платонов. – М. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
6. Медведев М.И. Гусеничное сцепление трактора / М.И. Медведев. – М. : Машиностроение, 1985. – 268 с.
7. Баженов С.П. Основы теории гусеничных машин: учебное пособие / С.П. Баженов. – Липецк : ЛГТУ. 2006. – 278 с.
8. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг; пер. с англ. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.
9. Торба А.В. О применении вибрации для повышения проходимости гусеничных транспортных средств по глубокому снегу / А.В. Торба // Вестник ЧГУ. – Череповецк, 2011. – № 3.1. – С. 92–95.
10. Волновой способ движения транспортно-тяговых устройств / Ю.Г. Лапынин, А.Н. Макаренко, Д.В. Резников, А.Ф. Тетерин // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 8. – С. 67–68.
11. Кузьо І.В. Моделювання руху розчленованих транспортних засобів / І.В. Кузьо, Р.В. Зінько // Вібрації в техніці і технологіях. – 2012. – № 2(66). – С. 42–49.
12. Фирма Valtra Vamet и её новые тракторы: отчет / сост. А.П. Парфенов; НАТИ. – М., 1999. – 143 с.
13. Тракторы фирмы New Holland с автоматическим включением привода переднего моста: отчет / сост. А.П. Парфенов; НАТИ. – М., 1999. – 96 с.
14. Будущее трансмиссий сельскохозяйственных тракторов за бесступенчатыми передачами: отчет / сост. М.Я. Мининзон; НАТИ. – М., 1999. – 136 с.
15. Пат. 2028242 РФ, МКИ В62D55/08. Способ повышения подвижности гусеничного транспортного средства на грунтах с высокой адгезией и самоходное гусеничное транспортное средство / Зенькович П.А., Кузьмин М.М., Медведев С.В., Вязенкин А.Н.; заявитель и патентообладатель Всесоюзный НИИ транспортного машиностроения. – № 4888665/11; заявл. 10.12.1990; опубл. 09.02.1995. – 4 с.
16. Мировые достижения по пахотным гусеничным тракторам и основные направления: методические указания / сост. М.С. Мезенцев. – Волгоград : ВолгПИ, 1988. – 40 с.

17. *Бердов Е.И.* Влияние конструктивных параметров гусеничного движителя и физико-механических свойств грунта на сопротивление передвижению транспортно-тяговой гусеничной машины / *Е.И. Бердов, В.Н. Бондарь, Г.М. Изгарев* // Вестник ЮУрГУ. – Челябинск, 2006. – № 11. – С. 107–113.

18. *Полянский А.С.* Неравномерное распределение крутящего момента в элементах гусеничного трактора при агрегатировании с плугом / *А.С. Полянский, С.А. Лебедев, А.Г. Хворост* // Праці ТДАТУ. – Мелитополь, 2006. – Вип. 9. Т.1 – С. 96–102.

19. *Рябченко В.Н.* Исследование взаимодействия с почвой различных типов гусеничных движителей в схеме рисозерноуборочного комбайна / *В.Н. Рябченко, А.М. Емельянов, А.В. Липкань* // Проблемы механизации с-х. производства Дальнего Востока. – Благовещенск, 1990. – С. 57–66.

20. Процесс колееобразования при многократном проходе лесозаготовительных машин / *В.М.Котиков, Я.В. Слодкевич* [и др.] // Научные труды МГУЛ. – М., 1995.

21. *Акинин Д.В.* Особенности деформации грунта гусеничными трелевочными тракторами / *Д.В. Акинин* // Лесной вестник. – 2000. – № 1. – С. 152–155

22. *Кохановский Н.В.* Анализ факторов, влияющих на несущую способность гусеничного движителя / *Н.В. Кохановский, О.В. Стаховский, А.Г. Янчик* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2004. – № 6 (12). – С. 108–111.

23. *Хархута Н.Я.* Реологические свойства грунтов / *Хархута Н.Я., Иевлев В.М.* – М. : Автотрансиздат, 1961. – 63с.

24. Пат. 2341403 РФ, МКИ В62D55/24. Бесконечная ленточная гусеница / *Даитиев И.С., Кульков А.А.* и др.; заявитель и патентообладатель Центр. НИИ специального машиностроения. – № 2007119839/11; заявл. 28.05.2007; опубл. 20.12.2008. – 4 с.

25. Пат. 2371345 РФ, МКИ В62D55/24. Трак гусеничной цепи / *Коваленко В.А., Давлетова М.А.* – № 2007119344/11; заявл. 24.05.2007; опубл. 27.10.2009. – 6 с.