

ЛУГАНСЬКИЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

БАЮН Віктор Миколайович

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОХОЛОДЖЕННЯ
ФРИКЦІЙНИХ ВУЗЛІВ**

(на прикладі барабанно - колодкових гальм транспортних засобів сільськогосподарського призначення)

Спеціальності: 05.20.01 - Механізація сільськогосподарського виробництва; 05.20.03 - Експлуатація, відновлення та ремонт сільськогосподарської техніки

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Луганськ, 1996

31.171

AB 36.276

31.3

Дисертація є рукописом.

ЛННБ України ім.В.Стефаника

Робота виконана в Луганському сільськогосподарському інституті



Науковий керівник - доктор технічних наук
Вольченко О. І.

00743912 (Q)

Науковий консультант - кандидат технічних наук
Рибін Г. П.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор,
академік УААН **Заїка П. М.**

- кандидат технічних наук, доцент
Чекановкін О. О.

Провідна організація - Луганське виробниче об'єднання
"Облагротехсервіс"

Захист відбудеться 24 грудня 1996 року о 10 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 01.01.18 при
Луганському сільськогосподарському інституті за адресою:
348008, Луганськ, дослідне поле, інститут.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий 22 листопада 1996 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради *Петренко* **О. О. ПЕТРЕНКО**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Досвід проектування та експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського призначення покаже, що розробка та впровадження примусового охолодження фрикційних вузлів гальмівних механізмів є однією з основних науково-технічних проблем, з успішним вирішенням якої тісно пов'язана безпека руху транспортних засобів, життя та здоров'я людей, цілісність перевозимого вантажу.

Відомо, що механічна енергія при терті в гальмівних пристроях перетворюється, в основному, в теплоту. Розсіювання енергії проходить по наступних напрямках: генерування теплоти на робочих поверхнях фрикційного вузла, накопичення енергії деформації, утворення точкових дефектів, дислокації та випромінювання у вигляді фотонів (акустичних хвиль, звуку), фотонів (триболомінесценції), електронів (екзоелектронної емісії) та ін. При рівні теплонавантаженості пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів, що перевищує допустиму температуру для матеріалів фрикційних накладок, спостерігається зниження зносо-фрикційних властивостей спряжених поверхонь, погіршення експлуатаційних параметрів гальмівного механізму, його ефективності та надійності. В зв'язку з цим фрикційні вузли барабанно-колодкових гальм транспортних засобів необхідно примусово охолоджувати і бажано саме під час гальмування, що обмежить зростання температурного градієнта і, як наслідок, термічних напружень. Інтенсифікація охолодження пар тертя гальм повинна базуватися на найбільш ефективних видах, одним з яких є термоелектричне охолодження. При використанні останнього термоелементами є напівпровідникові матеріали з n - і p -типами провідності. Принцип роботи термоелектричного охолодження полягає в тому, що зі зростанням температури гарячого спая напівелементів, який монтуєть запідлице з робочою поверхнею фрикційної накладки, різко зростає електрична провідність напівпровідників, а разом з нею і ефективність охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Найпоширенішими гальмівними пристроями, що використовуються в машинах та обладнанні сільськогосподарського призначення є барабанно-колодкові гальма.

Мета роботи - зниження рівня теплонавантаженості фрикційних

вуглїв шляхом інтенсифікації їх охолодження для покращення експлуатаційних параметрів гальмівного механізму.

Поставлена мета досягається вирішенням **наступних задач**:

розробити конструкції пристроїв та систем для термоелектричного примусового охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів;

провести теоретичні дослідження принципів роботи термоелектричного примусового охолодження барабанно-колодкових гальм без і під навантаженням, визначивши при цьому раціональні геометричні та експлуатаційні параметри термобатарей, а також ефективність їхньої дії;

провести експериментальні дослідження ефективності термоелектричного примусового охолодження барабанно-колодкових гальм транспортних засобів для оцінки ефективності їх роботи;

оцінити довговічність пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів при їхньому термоелектричному примусовому охолодженні.

Методи досліджень. При оцінці інтенсивності примусового охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм використано теоретичні та експериментальні положення теорії термоелектричного ефекту стосовно напівпровідникових елементів з n - і p -типами провідності; основні закони термодинаміки і теплопередачі; положення теорії математичної статистики; основні положення теорії конструювання та розрахунку автомобілів та теорії прийняття оптимальних рішень при конструюванні пристроїв та систем високоефективного термоелектричного примусового охолодження гальмівних механізмів.

Наукові положення, що захищаються в дисертації:

закономірності впливу теплонавантаженості пар тертя гальма на його експлуатаційні параметри (питомі навантаження, коефіцієнт тертя та гальмовий момент) з урахуванням специфіки умов роботи на бігаючої та збігаючої поверхонь фрикційних накладок колодок в гальмі;

принципи створення пристроїв та систем, що базуються на термоелектричному ефекті для відведення теплоти від обода гальмівного барабана під час гальмування транспортних засобів;

закономірності впливу геометричних, термоелектричних та теп-

лофізичних параметрів термобатарей, вмонтованих безпосередньо в гальмівні колодки, на ефективність охолодження (кількість відведеної від гальма теплоти) без навантаження;

методика розрахунку ефективності термоелектричного охолодження барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Наукова новизна роботи полягає у:

використанні принципів термоелектричного охолодження, які реалізовані в термобатареях з раціонально підібраними геометричними, термоелектричними та теплофізичними параметрами;

розробці конструкцій пристроїв та систем, що працюють на термоелектричному ефекті, для інтенсивного охолодження пар тертя гальм не тільки транспортних засобів будь-якої вантажності, але й дисково-колодкових та стрічково-колодкових гальмівних механізмів машин та обладнання найрізноманітнішого призначення;

оцінці ефективності комбінованого охолодження (термоелектричного з тепловою трубкою) барабанно-колодкових гальм транспортних засобів.

Особистий внесок. Автором розроблені методологічні положення для всього комплексу теоретичних та експериментальних досліджень інтенсивності охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм. Зокрема, зроблено наступне: створена методика розрахунку інтенсивності термоелектричного охолодження пар тертя гальм транспортних засобів [1, 2]; запропоновані принципи підбору геометричних, термоелектричних та теплофізичних параметрів напівпровідникових елементів з n - і p - типами провідності для охолодження пар тертя гальм [3, 4] та керування їхньою теплонавантаженістю [3, 5]; встановлено вплив термоелектричного охолодження на експлуатаційні параметри гальма [2].

Практична цінність роботи полягає у створенні та розробці пристроїв та систем охолодження примусового типу, які працюють на термоелектричному ефекті та ефекті теплової трубки, для зниження рівня теплонавантаженості пар тертя гальмівних механізмів транспортних засобів з метою підвищення їхніх експлуатаційних параметрів.

Реалізація результатів роботи. Підтримування теплового стану пар тертя гальм транспортних засобів сільськогосподарського призначення нижче допустимої температури для використовуваних ма-

терміалів фрикційних накладок сприяє підвищенню ефективності та надійності гальмівних механізмів, що з одночасним удосконаленням систем організації руху та перевезень сільськогосподарської продукції забезпечило економічний ефект 4,7 млн крб. (в цінах на 01.01.1991 року).

Апробація роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися автором на конференціях та семінарах: інституту внутрішніх справ, Луганськ, 1994-1996 рр.; міжнародній з автоматизації проектування та виробництва виробів в машинобудуванні, Луганськ, 1996 р.; міжнародній по створенню ресурсозберігаючих машин та технологій, Могильов (Беларусь), 1996 р.; спільному засіданні кафедр сільськогосподарських машин, механізації тваринницьких ферм, тракторів і автомобілів Луганського сільськогосподарського інституту, 1996.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в семи друкованих працях, з яких три статті і тези чотирьох доповідей.

Обсяг роботи. Дисертаційна робота загальним обсягом 156 стор. складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Основний текст викладений на 115 стор. та містить 12 табл. і 34 рис. Список літератури складається з 110 найменувань і розташований на 12 стор. Додатки викладені на 16 стор.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. У вступі наведена актуальність проблеми, визначена мета роботи та представлена загальна її характеристика.

Перший розділ присвячений аналізу умов роботи та навантаженості фрикційних вузлів сільськогосподарської техніки, розглянуті основні положення природнього, кондуктивного та примусового охолодження пар тертя гальм, доведена недостатність першого та необхідність останнього виду охолодження, а також сформульовані задачі досліджень.

Показано, що теплонавантаженість пар тертя барабанно-колових гальм транспортних засобів залежить від напруженості та інтенсивності їх експлуатації. В таких умовах підвищується роль примусового охолодження пар тертя гальм. Інтенсифікація природнього

охладження фрикційних вузлів гальм відбувалася, в основному, в напрямку збільшення площі тепловідвідних поверхонь (збільшення ширини обода гальмівного барабана, винесення обода барабана за межі контуру кузова автомобіля), а також інтенсифікації зовнішньої та внутрішньої вентиляції робочої та неробочої поверхонь гальмівного барабана. Підвищення інтенсивності теплообміну в зазорах між робочими поверхнями обода барабана та фрикційних накладок, неробочою поверхнею обода барабана та ободом колеса, а також в будівельному об'ємі гальмівного механізму шляхом розроблених конструктивних рішень впливає на швидкість та структуру потоків повітря, що омивають фрикційний вузол. В зазначених зазорах утворюються дрібно- та великодисперсні вихрі, збільшується кратність повітряного обміну.

Кондуктивний вид теплообміну в гальмівних механізмах реалізується за рахунок використання в них теплопровідних вкладок, ребер, покриттів та інших технічних та технологічних рішень. В таких випадках відведення теплоти від пар тертя відбувається за рахунок високого ефекту теплопровідності. Виготовлення гальмівних колодок та ободів барабанів з теплопровідних матеріалів є дорогим, окрім того, такі матеріали мають понижену механічну міцність.

Розробці методів та засобів примусового охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів присвячені праці вітчизняних дослідників С. В. Балаболіна, І. М. Богатчука, О. І. Вольченка, М. О. Вольченка, І. М. Масляка, Г. П. Рибіна, О. С. Федосова та ін. Із зарубіжних дослідників необхідно відзначити Б. Горста (B. Horst), Т. Ньюкомба (T. Newcomb), Г. Фазекаса (G. Fazekas), П. Фенсела (P. Fensel), Н. Мілнера (N. Millner) та ін.

На даний час було досліджено тільки примусове повітряне охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів. Стиснене повітря відводилося від пневматичної системи транспортного засобу і подавалося на пари тертя його гальма. Ефективність примусового повітряного охолодження склала 25,0-30,2 % для транспортних засобів середньої вантажності.

В останній час з'явилися розробки у вигляді пристроїв та систем з нетрадиційними видами охолодження (термоелектричним, магнітоелектричним, магнітним та акустичним), запропоновані для гальмівних пристроїв різного типу, що змонтовані в машинах та об-

ладнанні найрізноманітнішого призначення, і зокрема для барабанно-колодкових гальм. Проте, зазначені технічні рішення є фактично ескізними проектами, і під час їхньої розробки не проводилися ні теоретичні, ні експериментальні дослідження.

При теоретичних дослідженнях ефективності термоелектричного охолодження пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів, проведених нами, основним критерієм була допустима температура для використовуваних фрикційних матеріалів. Гальмівний механізм при цьому розглядали не тільки як механічну, але й теплофізичну систему. В межах даної роботи це виявилось можливим тільки при комплексному підході до вивчення даної проблеми (чисто теоретичні положення термоелектричного ефекту тісно пов'язувалися з питаннями конструювання пристроїв, що працюють на цьому фізичному явищі, з питаннями технології виробництва матеріалів для термоелектричних та умовами експлуатації барабанно-колодкових гальм транспортних засобів, для яких розроблялися зазначені пристрої).

Другий розділ роботи висвітлює теоретичні дослідження примусового охолодження фрикційних вузлів. В ньому розглядаються наступні питання: принципи створення пристроїв та систем примусового охолодження; проаналізовані фактори, що обумовлюють величину термічного опору пар тертя гальм; докладно розглянуті фізичні явища, що мають місце при термоелектричному охолодженні пар тертя фрикційних вузлів; досліджена інтенсивність термоелектричного охолодження пар тертя гальм без і з навантаженням при нестационарному режимі їх роботи.

Проаналізована ефективність пристроїв та систем для примусового рідинного охолодження пар тертя, зокрема тих пристроїв, що працюють на ефекті теплової трубки. Відмічено, що використання останньої є менш ефективним. Рекомендовано використовувати теплові трубки як допоміжний пристрій до загальної системи охолодження.

Використання термоелектричного ефекту для гальмівних пристроїв, який базується на особливостях роботи напівпровідникових елементів (термоелементів) з *n*- і *p*- типами провідності, дозволяє інтенсивно відводити теплоту від пар тертя гальма в процесі гальмування, що значно обмежує зростання поверхневих температур робочих деталей. При цьому термоелементи повинні бути виведені за межу робочій поверхні фрикційних накладок і разом з метале-

вим ободом гальмівного барабана утворюють гарячий спай. Фактично вони є перетворювачами теплової енергії, що виділяється при терті, в електричну, яка перетікає на холодний спай термобатареї, де електрична енергія знову перетворюється на теплову і поглинається тепловою трубкою. Однією з основних особливостей роботи гальмівного механізму з термоелектричним охолодженням є те, що зі збільшенням навантаження на гальмо зростає температура гарячого спаю напівелементів. Це обумовлює підвищення їхньої питомої електричної провідності, що призводить до збільшення кількості відведеної від пар тертя в одиницю часу енергії, тобто зростає ефективність охолодження пар тертя.

Розробці пристрою для термоелектричного охолодження гальмівних пристроїв передувала оцінка термічного опору контакту пар тертя гальма, оскільки напівелементи монтувалися в тілі фрикційних накладок. Згідно з результатами досліджень термічний опір контакту пар тертя в значній мірі залежить від рівня питомих навантажень, середньої поверхневої температури робочих деталей гальма (фрикційних накладок та обода гальмівного барабана) і чистоти зазначених поверхонь. В зв'язку з викладеним монтування термоелементів в тіло фрикційних накладок необхідно здійснювати тільки після їхньої приробки до обода гальмівного барабана.

При розробці пристроїв та систем охолодження барабанно-колових гальм було враховано наступне. Між кінцями термоелементів, що мають різну температуру (бажано, щоб її перепад був якомога більшим), виникає різниця потенціалів, а в самому термоелементі - електрорушійна сила. Виникнення останньої пояснюється тим, що потік дифузії заряджених частинок від нагрітого кінця термоелемента до холодного більший, ніж в зворотньому напрямі. Певна величина напруги складається не тільки з падіння напруги всередині термоелемента, але й зі стрибків потенціалу, які існують на границях торцевої поверхні напівпровідника, виведеного за підлице робочій поверхні фрикційних накладок.

Струм у напівпровіднику виникає як за рахунок термоелектричного ефекту, так і за рахунок p-n переходу в напівпровідникових елементах. При наявності градієнту температури в термоелементі виникає тепловий потік, обумовлений теплопровідністю його матеріалу. При зміні величини теплового потоку спостерігається виді-

лення теплоти в об'ємі термоелемента.

Розглянуті особливості конструкції та робота барабанно-колодкового гальма з комбінованим охолодженням (термоелектричним з тепловою трубкою, заявка на патент за N 96116431/20).

На рис. 1 наведена зазначена конструкція. Термоелементи 13 та 14 з гарячим 16 і холодним 20 спаями, а також холодною зоною 19 теплової трубки 17 з ребрами, виконаними на перемичці, що з'єднує холодні спаї 20, в цілому складають термобатарей. Перед заповненням теплоносієм 24 об'єм теплової трубки 17 вакуумується теплопровідні камери 22 встановлені в носковій (а) та п'ятковій (б) частинах колодки 2. При цьому за рахунок різного коефіцієнта взаємного перекриття вони мають різну площу взаємодії з ободом гальмівного барабана 1. Це дозволяє підтримувати однаковий ефект охолодження холодного спаю термоелементів 13 та 14, а отже, сталої вздовж поверхні тертя температури. Генерована на поверхні тертя гальма теплота створює при цьому перепад температур T_1 і T_0 між гарячим 16 та холодним 20 спаями термобатарей призводить до того, що на холодному спаї 20 виникає термо-е. р. с., яка при наявності замкнутого електричного ланцюга утворює термоелектричний струм.

Після завершення гальмування розриву гарячого спаю 16 термобатарей не відбувається в зв'язку з тим, що кінці напівелементів 13 та 14 постійно контактують з нагрітою поверхнею теплопровідної вкладки б. Охолодження останньої продовжується до тих пір, поки не зникне перепад температур T_1 і T_0 (тобто за умови, що $T_1 - T_0 = 0$).

В роботі наведені також особливості конструкції термобатарей, вмонтованих безпосередньо в обід гальмівного барабана (заявка на патент за N 96116432/20), та докладно розглянута їхня робота.

Значна увага приділена математичному опису роботи термоелементів без і з навантаженням гальмівного механізму.

При проходженні струму через термоелемент мають місце два ефекти: поглинання теплоти Пельт'є, кількість якої пропорційна силі струму, та виділення теплоти Джоуля, пропорційної до квадрату сили струму. Проведені обчислення показали, що майже половина теплоти Джоуля припадає на холодні спаї термоелемента. Це знижує інтенсивність охолодження, обумовленого ефектом Пельт'є. При дея-

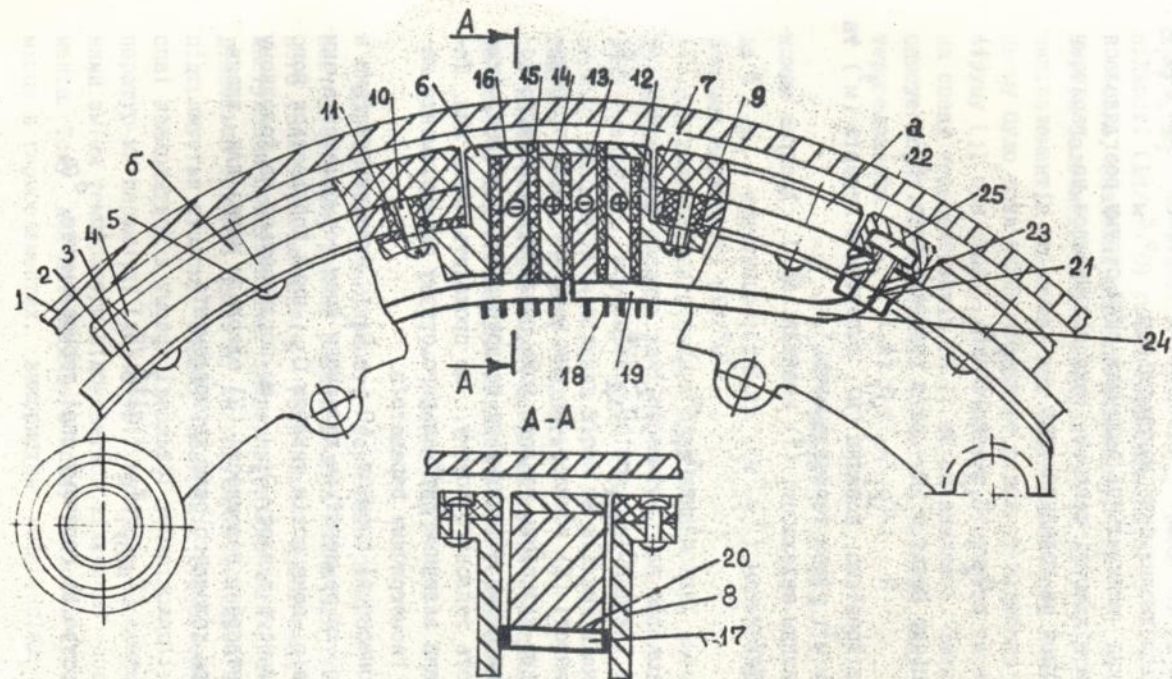


Рис. 1 а, б Барабанно-колодкове гальмо з комбінованим охолодженням: 1, 2, 3, 7 - гальмізний барабан, колодка, її основа з вікнами в середній частині; 4 - фрикційні накладки; 5 - заклепки; 6, 11, 13 - теплопровідна вкладка з отворами та заглибленнями в ній; 8 - ребра колодки; 9, 16 - електро - та теплоізоляція; 10, 12 - гвинти; 14, 15, 17, 21 - напівелементи з r - та p - типу провідності і їх гарячий та холодний спай; 18, 19, 20 - теплова трубка з ребрами і холодних зон; 22 - штуцери; 23 - теплопровідні камери; 24 - трубопроводи; 25 - теплоносій

кому значенні струму теплота Джоуля перевищує теплоту Пельть'є, і процес охолодження вироджується в процес нагрівання. З вищевикладеного випливає, що існує така сила струму, при якій інтенсивність охолодження буде максимальною.

Для визначення оптимальної величини сили струму розглядалася алгебраїчна сума кількості теплоти, яка поглиналася на гарячому спаї і переносилася на холодний спаї

$$Q_j = -\Pi_{1,2} \cdot i + 1/2 i^2 R, \quad (1)$$

де $\Pi_{1,2}$ - коефіцієнт Пельть'є; R - опір термоелемента, Ом

$$R = 1/(\rho_1/A_1 + \rho_2/A_2);$$

l , A_1 , A_2 , ρ_1 , ρ_2 - відповідно, довжина (м), поперечний переріз (m^2) та питомий опір (Ом/ m^2) гілок термоелемента.

Диференціюванням залежності (1) знайшли, що Q досягає максимуму при силі струму

$$i_0 = \Pi_{1,2} / R; \quad (2)$$

$$Q_{j \max} = -\Pi_{1,2}^2 / 2R. \quad (3)$$

Аналіз залежності (2) показав, що чим меншим є опір термоелемента, тим більша кількість теплоти може поглинатися на його холодному спаї. При цьому збільшується теплопровідність гілок, отже зростає потужність теплового потоку, що проходить через них. Таким чином, шукана величина оптимального струму термоелемента залежить від його геометричних параметрів.

Умова стаціонарності процесу ($Q_\lambda = Q_j$) була використана з урахуванням того, що температура холодного спаю термоелемента знижується до тих пір, поки потік теплоти Q_λ , який передається його гілками, не збалансує теплоту Q_j , що поглинається на холодному спаї. Після перетворень залежності (2) одержали вираз для визначення температури холодного спаю термоелемента.

$$T_{\min} = T_0 - z l T_0^2 / 2,$$

де T_0 - температура на гарячому спаї термоелемента, $^{\circ}C$;

$z = [\alpha_1 - \alpha_2 / (\sqrt{\kappa_1 \rho_1} + \sqrt{\kappa_2 \rho_2})]^2$,
 $\alpha_1, \alpha_2, \kappa_1, \kappa_2$ - коефіцієнти термо-е. р. с. (мкВ/°C) та питомої теплопровідності (Вт/м³.°C) гілок термоелементів.

Отже, значення різниці температур ($T_0 - T$) на спаях термоелементів залежить від температури T_0 та добутку z . Довжина гілок напівелементів визначена при їхній роботі під навантаженням. При цьому було розв'язане квадратне рівняння відносно повної густини струму (j) при умові, коли напрямки струму та перепаду температур на спаях термоелементів (ΔT) не співпадають. Зазначене рівняння описує повну згенеровану теплоту в одиницю часу одиницею об'єму термоелемента

$$Q_V = j^2 / \sigma - \alpha_T j \Delta T + \text{div}(\kappa \Delta T), \quad (4)$$

де σ ; α_T - електропровідність (Ом⁻¹.м⁻¹) матеріалу гілок та коефіцієнт потужності (Вт/°C).

Для розв'язання рівняння були використані математичні вирази, до складу яких входять такі параметри, як абсолютна величина заряду електрону, коефіцієнти обіполярної дифузії в n - та p -областях, концентрація вільних дірок та вільних електронів, довжини дифузії дірок в n - та p -областях.

Після ряду підстановок та перетворень з рівняння (4) одержали залежність для визначення довжини гілок термоелементів

$$1 = j / 2en(e^{\alpha} \Delta T - 1). \quad (5)$$

Для оцінки ефективності термоелектричного охолодження в нестационарному режимі роботи гальма визначали температуру холодного спаю термоелементів. Розв'язання даної задачі проводилося з наступними припущеннями: температура гарячого спаю, на якому виділяється теплота Пельть'є, за рахунок інтенсивного тепловідведення підтримується сталою; бокові поверхні термоелементів та холодні спаї знаходяться в умовах ідеальної теплоізоляції; перепадом температур на перемичці (радіаторі) нехтуємо. З прийнятими припущеннями зміна температури відбувається тільки по довжині термоелемента. Тому для математичного опису теплових процесів, що мають місце в термоелементах, використано диференціальне рівняння теп-

лопровідності з джерелом теплоти для одномірного теплового потоку

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{w}{c\gamma}, \quad (6)$$

де T - досліджувана температура, $^{\circ}\text{C}$; t - час протікання електричного струму через термоелемент, с ; a , λ , c - коефіцієнти температуропровідності ($\text{м}^2/\text{с}$), теплопровідності ($\text{Вт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}$) і питома теплоємність ($\text{Дж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}$) матеріалу гілок термоелементів;

$$a = \lambda / c\gamma;$$

γ - густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$; w - потужність одиниці об'єму термоелемента, $\text{Вт}/\text{м}^3$.

Оскільки критерієм теоретичного дослідження на даному етапі є зміна температури по довжині термоелемента, джерелом теплоти в якому є електричний струм, то рівняння (6) набуває вигляду

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} - \varepsilon, \quad (7)$$

де $\varepsilon = w/\lambda$ - холодильний коефіцієнт корисної дії термобатареї.

Для розв'язання диференціального рівняння (7) розглянуті граничні умови, а також рівняння теплового балансу для термоелементів. Використавши другу граничну ($x = 1$) умову та врахувавши, що величина теплового потоку залежить від часу (t), представили диференціальне рівняння (7) у вигляді

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\partial T}{\partial t} = -f(t) \quad \text{при: } 0 < x < 1 \\ t > 0.$$

Операторне зображення задачі має вигляд

$$\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x^2} - \frac{p}{a} \bar{T} = -\bar{f}(p),$$

з граничними $T(0; t) = T_0$; $T(1; t) = T$, та початковими $T(x; 0) = T_0$ умовами.

Розв'язок поставленої задачі має вигляд

$$T = T_0 + \frac{\frac{1}{2} \varepsilon \chi l^2 - q T_0 l}{q l + \mu} + 2 l^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{[\varepsilon \mu (\cos \delta_k - 1) + \frac{q T_0}{l} \delta_k \sin \delta_k]}{\delta_k^2} \cdot e^{-\frac{\delta_k^2}{l^2} a t} \\ \frac{\delta_k \cdot \sin \delta_k (\mu + \frac{2 a c_0}{l}) + (\frac{\sin \delta_k}{\delta_k} - \cos \delta_k) (q l - \frac{a c_0}{l})}{\delta_k^2}, \quad (8)$$

де δ_k - корені трансцендентного рівняння

$$\operatorname{tg} \delta_k = \frac{\mu l \delta_k}{\alpha l^2 - c_0 \alpha \delta_k^2}.$$

Аналіз залежності (8) показує, що температура холодного спаю термоелемента є функцією квадрату його довжини, а швидкість охолодження обернено пропорціональна до l^2 . Зі зростанням сили струму темп охолодження збільшується.

Для підтвердження теоретичних висновків і положень та з метою співставлення ефективності природного і примусового охолодження робочих деталей барабанно-колодкових гальм проведені їхні експериментальні дослідження.

В третьому розділі наведені задачі та методика проведення випробувань, представлений перелік з докладним описом вимірювальної апаратури та датчиків, а також викладені результати експериментальних досліджень: термобатарей без навантаження і рівня теплонавантаженості пар тертя гальм при термоелектричному та комбінованому охолодженні. В останньому пункті цього розділу викладені методики обробки одержаних експериментальних даних та оцінки похибки вимірювань.

Об'єктами дослідження були термобатарей, гальмівні колодки з накладками та задній гальмівний механізм автомобіля ЗІЛ-130. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних (на гальмівному стенді) та експлуатаційних (на автомобілі ЗІЛ-130) умовах.

В процесі експериментальних досліджень рееструвалися наступні параметри: температури гарячого і холодного спаїв термобатарей та гальмівних колодок в місці їхнього дотику з її гілками; сила струму, що подавався на гарячий спай термобатарей; час нагрівання та охолодження; швидкість руху транспортного засобу; сила притискання фрикційних накладок до обода гальмівного барабана та величина їхнього спрацювання (масова).

Експериментальні дослідження роботи термобатарей в нестационарному режимі виконувалися на зразках, виготовлених так, щоб виключити вплив теплоємності металевої перемички, що з'єднує холодні спаї, а також на термобатарей з мідними комутаційними пластинками різної товщини. При цьому підтвердився висновок про умову впливу перемички на інерційність термобатарей. Інерційність практично не залежить від наявності перемички, якщо її товщина не перевищує 5 % від довжини гілок напівелементів.

Для виготовлення гілок використовували матеріал з термо-е.р.с. $\alpha = \pm 180$ мкВ/С та електропровідністю $\sigma = 7250$ Ом⁻¹ мм⁻¹. Випробування виконувалися на повітрі. Для зменшення теплообміну з оточуючим середовищем бокові поверхні та холодні спаї термоелемента ізолювали шаром вати.

Напівелементи мали довжину гілок 10, 20, 30, та 40 мм. Найкраще себе показали напівелементи з довжиною гілок 20 мм. Вони забезпечили максимальне зниження температури (різниця температур гарячого і холодного спаїв досягала 34°С) при струмі $I = 16$ А за час 25 с. Зниження температури до $T = (30 - 33)^\circ\text{C}$ за час 40 с досягалося при струмах $I = 8, 12$ та 16 А. Мінімальне зниження температури (до 15°С) досягалося при струмі $I = 2$ А за час 10 с. Було встановлено, що при струмах більше 8 А ефект нагрівання в тілі напівелемента значно знижував ефект охолодження контакту в цілому.

В таблиці наведені результати експериментальних досліджень поверхневих температур задніх гальмівних механізмів автомобіля ЗІЛ-130 при різних видах їх охолодження в експлуатаційних умовах.

Таблиця

Результати експериментальних досліджень поверхневих температур пар тертя задніх гальмівних механізмів автомобіля ЗІЛ-130 при різних видах їх охолодження

При природньому охолодженні, $T, ^\circ\text{C}$					
100	150	200	250	300	350
При термоелектричному охолодженні, $T, ^\circ\text{C}$					
85	130	160	200	225	250
Холодильний коефіцієнт корисної дії, $\epsilon, \%$					
15,0	13,3	20,0	20,0	25,0	28,6
При комбінованому охолодженні, $T, ^\circ\text{C}$					
85	120	150	185	210	235
Холодильний коефіцієнт корисної дії, $\epsilon, \%$					
15,0	20,0	25,0	26,0	30,0	32,8

Холодильний коефіцієнт корисної дії ($\epsilon = [(T_0 - T)/T_0] \cdot 100, \%$) при термоелектричному охолодженні змінюється в інтервалі від 13,3 до

28,6 %. В той же час при комбінованому (термоелектричному з тепловою трубкою) охолодженні коефіцієнт змінюється в інтервалі від 15 до 32,8 %. При цьому виді охолодження поверхнева температура була нижче допустимої, тобто не перевищувала 235°C . Дослідження показали, що ефективність термобатарей зростає зі збільшенням температури поверхонь тертя, що обумовлено зростанням різниці T .

На рис. 2 наведені результати експериментальних досліджень теплонавантаженості пар тертя задніх гальмівних механізмів автомобіля ЗІЛ-130 від часу гальмування на різних схилах та їхній довжині без (—) (дані одержані канд. техн. наук Г. П. Рибіним) та з комбінованим (---) охолодженням при різній швидкості руху: 1 - 30 км/г; 2 - 40 км/г; 3 - 50 км/г; 4 - 60 км/г. З графіків видно, що допустимої температури матеріал фрикційних накладок 6КХ-4В досягає при русі автомобіля ЗІЛ-130 під схил $i = 3,47\%$ та $l = 7,5$ км зі швидкостями 60; 50; 40 та 30 км/г, відповідно, за час 13,0; 16,0; 18,6 та 21,4 хв. В той же час при комбінованому охолодженні пар тертя гальм допустима поверхнева температура буде досягнута за час 37,6 хв при швидкості руху 60 км/г. При інших швидкостях руху автомобіля ЗІЛ-130 рівень теплонавантаженості гальма буде нижчий за допустиму поверхневу температуру. Отже, ефективність гальмівного механізму при комбінованому охолодженні є гарантованою.

Стосовно другого дорожнього режиму випробовування гальм автомобіля ЗІЛ-130 на схилі $i = 7,1\%$ та $l = 2,05$ км досягання поверхневої температури, що перевищує допустиму відбувалося за час 3,8; 4,2; 5,35 та 6,2 хв, відповідно, при швидкостях руху 60, 50, 40 та 30 км/г. При комбінованому охолодженні рівень теплонавантаженості гальм на всіх режимах руху автомобіля не перевищує допустимої температури.

Температура спряжених поверхонь робочих деталей обумовлює величину коефіцієнта тертя. Під час досліджень встановлено, що при зміні поверхневої температури змінюється коефіцієнт тертя, питомі навантаження в гальмівному механізмі, а також його теплонавантаженість і ефективність. Найбільш раціональним рівнем теплонавантаженості гальм є такий, що характеризується поверхневими температурами від 100 до 200°C . Так, при температурі пар тертя 100°C при зміні питомих навантажень від 0,1 до 0,5 МПа коефіцієнт тертя змінюється від 0,328 до 0,232. При поверхневій температурі

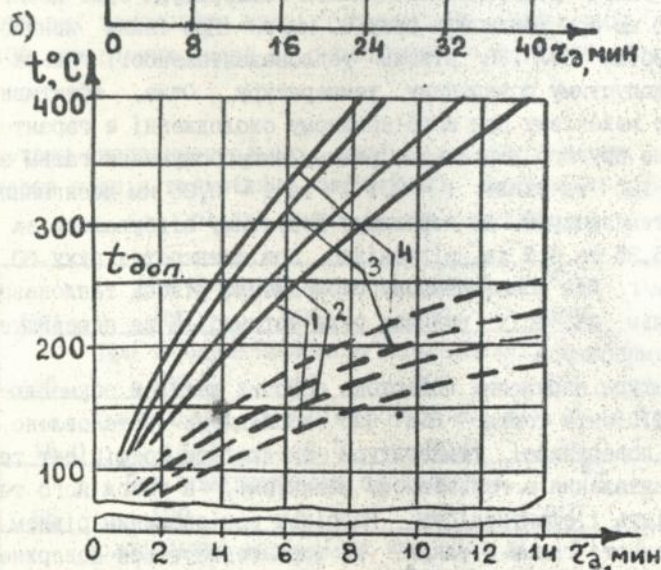
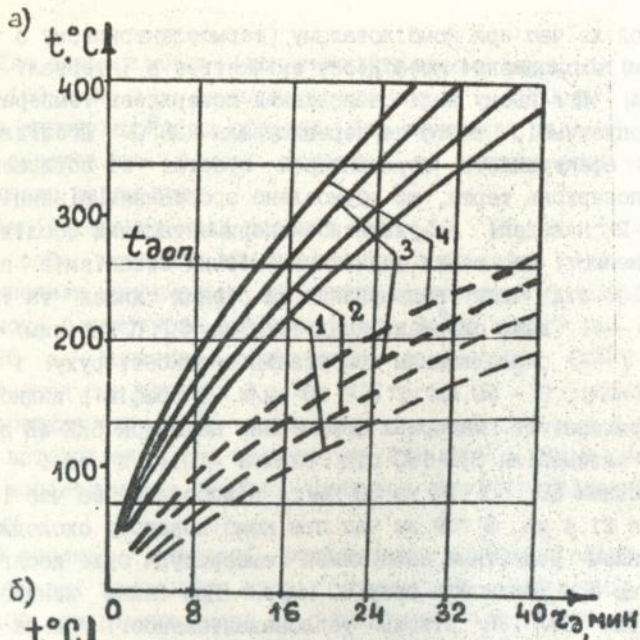


рис. 2а,б Залежності тепловантаженості пар тертя задніх гальмівних механізмів автомобіля ЗМЛ-ІЗО від часу гальмування на різних схилах та їх довжині без (—) та з комбінованим (---) охолодженням при різній швидкості руху: 1 - 20 км/г; 2 - 40 км/г; 3 - 50 км/г; 4 - 60 км/г

пар тертя 200°C спостерігається наступна картина: $p = 0,1 - 0,5$ МПа, $f = 0,36 - 0,236$. Показано, що пари тертя заднього гальмівного механізму автомобіля ЗІЛ-130 працюють, в основному, при питомих навантаженнях $p = 0,28 - 0,32$ МПа. Аналіз закономірностей зміни інтенсивності спрацювання фрикційних накладок (матеріал БКХ-4Б) заднього гальмівного механізму автомобіля ЗІЛ-130 показав, що їхнє масове зношення при питомих навантаженнях $p = 0,1 - 0,6$ МПа і температурах 320 та 250°C становить $1,82$ та 1 г.

В четвертому розділі досліджено вплив теплової навантаженості барабанно-колодкового гальма на його експлуатаційні параметри, розглянуті способи керування навантаженістю гальмівного вузла, оцінена ефективність термоелектричного охолодження пар тертя, наведені конструкції та способи інтенсифікації примусового охолодження різних типів гальм машин та обладнання найрізноманітнішого призначення, а також наводяться задачі подальших досліджень.

Встановлений вплив теплонавантаженості пар тертя барабанно-колодкових гальм транспортних засобів при природньому та примусовому їх охолодженні на експлуатаційні параметри (розтискні зусилля, питомі навантаження, коефіцієнти тертя, гальмові моменти, інтенсивність спрацювання) і показано, що при рівні теплонавантаженості, що перевищує допустиму температуру для використовуваних фрикційних матеріалів, спостерігається помітна дестабілізація зазначених параметрів, що призводить до втрати ефективності та надійності гальма в цілому.

Встановлено, що самовідтискна та самопритискна гальмівні колодки при однакових питомих навантаженнях $p = 0,1 - 0,35$ МПа та роботі тертя $W = 1,0 - 4,0$ кДж в гальмівному механізмі чутливо реагують на зміну коефіцієнтів тертя. Відношення значень f складає $1,1 - 1,25$. При питомих навантаженнях $p = 0,7$ МПа та роботі тертя $W = 5,0$ кДж коефіцієнти тертя для вказаних вище колодок є рівними. Це пояснюється більш високим рівнем теплової навантаженості самопритискної колодки, що обумовило падіння f на ній.

Показано, що завдяки термоелектричному охолодженню робочої поверхні фрикційних накладок, що мають набігаючу та збігаючу частини, в самопритискній колодці коливання коефіцієнта тертя

складає 1,083 - 1,181 при найвживанішому питомому навантаженні 0,3 МПа і переважачих умовах експлуатації гальмівних механізмів транспортних засобів.

Стосовно довговічності фрикційних накладок барабанно-колодкових гальм транспортних засобів встановлено, що масове зношення фрикційних накладок при $t = 320^{\circ}\text{C}$ в 1,82 рази більше, ніж при 250°C .

Класифікація способів та конструктивних рішень по зниженню силової навантаженості гальмівних механізмів розроблена по критерію керування теплонавантаженістю. При цьому враховувалася зміна властивостей оточуючого середовища в трибосистемі в зв'язку з подачею теплоносія на поверхні тертя, що призводить до зниження теплонавантаженості, зміцнення поверхневих шарів робочих деталей, а також зниження рівня деформацій і зменшення нерівномірності спрацювання пар тертя. Критерієм вибору теплоносія був не тільки рівень його теплопоглинаючої здатності, але й те, на скільки він здатен змінити властивості оточуючого трибосистему середовища з метою стабілізації питомих навантажень, коефіцієнтів тертя, гальмових моментів та поверхневих температур. Відмічено, що цього можна досягти шляхом інтенсифікації охолодження пар тертя гальмівних пристроїв.

При оцінці ефективності термоелектричного охолодження барабанно-колодкових гальм транспортних засобів на підставі набутого досвіду були сформульовані рекомендації щодо конструювання охолоджуючих пристроїв для фрикційних вузлів. Створення роботоздатних з максимальною ефективністю конструкцій необхідно проводити наступним чином:

розробити пристрої та системи для примусового охолодження з урахуванням конструктивних особливостей гальмівних барабанів та колодок. При цьому необхідно брати до уваги інформацію по переважачих режимах навантаженості при експлуатації транспортних засобів;

поряд з термоелектричним ефектом бажано використовувати інші ефекти, наприклад, теплової трубки. Перемички на холодних спаях термоелементів бажано виконувати у вигляді радіаторів, їхня товщина не повинна перевищувати 5 % від довжини термоелемента (у випадку використання розгалуженої поверхні - радіатора, до уваги береться її зведена товщина);

при виборі матеріалів для термоелементів необхідно зважати на величину термо-е.р.с. Оптимальним значенням зазначеного параметру є 170 - 180 мкВ/°С, оскільки саме при цих умовах параметр $\alpha^{2\delta}$ (δ - електропровідність матеріалу гілок) досягає в матеріалах гілок свого максимального значення. Решта термоелектричних та теплофізичних параметрів, окрім питомої теплопровідності та коефіцієнта температуропровідності, повинні приймати граничні значення (для однієї гілки - нижні, тоді для другої - верхні);

довжина гілок термоелементів визначається обчисленнями за формулою (5) з урахуванням термоелектричних та теплофізичних параметрів з наступним підбором їхнього поперечного перерізу з міркувань забезпечення максимального перепаду температур на кінцях термоелементів;

використання каскадного охолодження, що забезпечується послідовним з'єднанням декількох термобатарей, значно підвищує ефект охолодження, але є доцільним тільки для важконавантажених фрикційних вузлів;

термобатареї, встановлені в гальмівні колодки, проходять попередні випробування в лабораторних умовах по критерію ефективності охолодження.

При оцінці цього параметру використане трансцендентне рівняння (8), результати розрахунків по якому виконані для гілок напівелементів з довжиною 10, 20, 30 та 40 мм. Відхилення розрахункових значень ΔT від експериментальних не перевищує 5 %.

Оцінка ефективності охолодження гальм з термобатареями в експлуатаційних умовах проводилася шляхом порівняння значень холодильного коефіцієнта корисної дії.

В роботі розглянуті конструкції дисково-колодкового (заявка за N 96116430/20) та стрічково-колодкового гальма з термоелектричним охолодженням.

Дисково-колодкове гальмо має ту особливість, що термоелементи батарей виготовлені П- та Г-подібної форми. Їхні холодні спаї під'єднані безпосередньо до теплових трубок, холодні зони яких розміщені радіально і винесені за межі диска. В даній конструкції висока ефективність охолодження теплових трубок забезпечується інтенсивним перемішуванням теплоносія відцентровими силами, що виникають внаслідок обертального руху гальмівного диска.

В стрічково-колодковому гальмі з термоелектричним охолодженням термоелементи знаходяться безпосередньо в тілі фрикційних накладок, які виконують до того ж функцію теплоелектроізолятора. На неробочій поверхні фрикційних накладок вифрезеровані поздовжні рівці, в які встановлені радіатори, що підключені до холодних спайв термоелементів.

Задачами подальших досліджень є: розробка конструкцій пристроїв та систем з нетрадиційними видами охолодження (акустичним, електрогідравлічним, магнітоелектричним, магнітним та ін.) для зниження рівня теплонавантаженості пар тертя гальмівних пристроїв; їхні теоретичні та експериментальні дослідження з метою можливості раціонального вибору того чи іншого виду охолодження для конкретного фрикційного вузла з конкретними режимами його експлуатації.

ВИСНОВКИ

При проведенні теоретичних та експериментальних досліджень примусового охолодження фрикційних пар барабанно-колодкових гальм транспортних засобів зроблено наступне:

1. Створені принципи використання термоелектричного ефекту до барабанно-колодкових гальм транспортних засобів, а також до стрічково- та дисково-колодкових гальмівних механізмів з метою їхнього охолодження безпосередньо в процесі гальмування. При цьому враховувалася властивість напівпровідникових матеріалів збільшувати питому електричну провідність зі зростанням температури поверхонь тертя, що значно підвищує ефективність примусового охолодження.

2. Визначена розрахунковим шляхом довжина гілок термоелементів [залежність (5)]; експериментальним шляхом в лабораторних умовах підібрані матеріали для виготовлення термобатарей з раціональними термоелектричними та теплофізичними параметрами і оцінена ефективність їх охолодження.

3. Отримане трансцендентне рівняння (8) та його корені для оцінки ефективності термобатарей, які встановлені в барабанно-колодкових гальмах транспортних засобів. Відхилення розрахункових значень зниження поверхневих температур фрикційних вузлів гальма

від експериментальних даних не перевищувало 5 %.

4. Запропоновані місця і способи монтажу термобатарей та теплових трубок в гальмівних колодках задніх гальмівних механізмів транспортних засобів та проведені експлуатаційні випробування при довготривалому режимі їх навантаження. Оцінена ефективність комбінованого охолодження пар тертя гальм в інтервалі поверхневих температур 100 - 350⁰С по значеннях холодильного коефіцієнта корисної дії (ϵ), що змінювався від 15,0 до 32,8 %.

5. Встановлено вплив тепловантаженості фрикційних вузлів гальм транспортних засобів при природньому та примусовому їх охолодженні на експлуатаційні параметри. Показано, що при рівні тепловантаженості, що перевищує допустиму температуру для використовуваних фрикційних матеріалів спостерігається суттєва дестабілізація коефіцієнта тертя, гальмових моментів, притискних зусиль і т.д. Це призводить до втрати гальмом ефективності та надійності.

6. Встановлені закономірності зміни коефіцієнтів тертя від питомих навантажень та роботи тертя на самопритискній та самовідтискній колодках заднього гальма транспортного засобу.

7. Одержані закономірності зміни коефіцієнтів тертя на набігаючій та збігаючій поверхнях фрикційних накладок самопритискної колодки заднього гальма транспортного засобу з термоелектричним охолодженням від величини питомих навантажень.

8. Оцінена довговічність фрикційних накладок гальмівних колодок гальма при природньому і примусовому його охолодженні.

9. Розроблені конструкції барабанно-, дисково- та стрічково-колодкових гальм з нетрадиційним видом охолодження (термоелектричним). Останнє забезпечує зниження тепловантаженості пар тертя гальм на 15-30 %, що дозволяє підтримувати рівень тепловантаженості в інтервалі поверхневих температур 100 - 230⁰С, тобто нижчих за допустиму температуру для використовуваних фрикційних матеріалів.

Mechanization of Agricultural Production. 05.20.02 - Operation.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВИКЛАДЕНІ В НАСТУПНИХ ПРАЦЯХ

1. Вольченко Д. А., Рибін Г. П., Бажанько Н., Вольченко Н. А. К.

расчету термоэлектрического охлаждения пар трения тормозных устройств. - Ивано-Франковск, 1995. - 10 с. - / Рукопись представлена Прикарпатским ун-том им. В. Стефаника. Деп. в ГНТБ Украины 04.04.1995, N 893 - Ук. 95.

2. Баюк В. Н. Расчет и конструирование устройств и систем термоэлектрического охлаждения пар трения тормозов. - Луганск, 1996. - 16 с. - / Рукопись представлена Луганским ин-том внутренних дел. Деп. в УкрИНТЭИ 10.10.1996, N 30 - Ук. 96.

3. Баюк В. М. Керування навантаженістю фрикційних вузлів. - Луганськ, 1996. - 6 с. - / Рукопис представлений Луганським ін-том внутрішніх справ. Деп. в УкрІНТЕІ 14.10.1996, N 32. - Ук. 96.

4. Вольченко Д. А., Рыбин Г. П., Вольченко Н. А., Баюк В. Н. Экспериментальные исследования термоэлектрического охлаждения пар трения тормозных устройств. - Тезисы докладов международной научно-практической конференции "Автоматизация проектирования и производства изделий в машиностроении" (часть 1), Луганск, 1996. - С. 77.

5. Вольченко Д. А., Рыбин Г. П., Вольченко Н. А., Баюк В. Н. Об управлении теплонагруженностью пар трения тормозных устройств. - Тезисы докладов международной научно-практической конференции "Автоматизация проектирования и производства изделий в машиностроении" (часть 1), Луганск, 1996. - С. 76.

6. Вольченко А. И., Баюк В. Н., Рыбин Г. П. К оценке эксплуатационных параметров термоэлектрического охлаждения тормозных устройств. - Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Создание ресурсосберегающих машин и технологий" (часть 2), Могилев, 1996. - С. 62.

7. Вольченко А. И., Рыбин Г. П., Баюк В. Н., Вольченко Н. А. Эксплуатационные параметры фрикционных узлов. - Тезисы докладов международного научно-технического семинара "Неразъемные соединения в сборке изделий", Варшава, 1996. - С. 56 - 64 (польскою мовою).

АННОТАЦИЯ

Баюк В. Н. Интенсификация охлаждения фрикционных узлов (на примере барабанно-колодочных тормозов транспортных средств сельскохо-

заяственного назначения).

Диссертация является рукописью на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.20.01 - механизация сельскохозяйственного производства; 05.20.03 - эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники. Луганский сельскохозяйственный институт. Луганск, 1996.

Защищается три статьи и тезисы четырех докладов, которые содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований принудительного термоэлектрического охлаждения пар трения барабанно-колодочных тормозов транспортных средств, используемых в сельскохозяйственном производстве. На основании экспериментальных исследований проиллюстрировано влияние тепловой нагруженности пар трения тормозов на их эксплуатационные параметры. Оценена эффективность термоэлектрического и комбинированного (термоэлектрического с тепловой трубкой) охлаждения при длительном режиме нагружения тормозов. Предложены конструкции устройств и систем для интенсификации охлаждения фрикционных узлов тормозов.

Разработана методика расчета эффективности термоэлектрического охлаждения пар трения тормозов. Показан ресурс фрикционных накладок колодок барабанно-колодочных тормозов транспортных средств без и с принудительным охлаждением.

ABSTRACT

Bajun V. N. Stimulation of Friction Assembly Cooling (exemplified by drum-shoe brakes of vehicles of farm machinery)

The thesis is a manuscript on competition for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in 05.20.01 - Mechanization of Agricultural Production; 05.20.03 - Operation, Restoration and Overhaul of Farm Machinery. Lugansk Agricultural Institute. Lugansk, 1996.

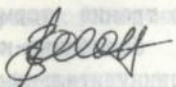
The competitor stands for three articles and abstracts to

four reports which list the results of theoretical and experimental investigation of force thermoelectrical cooling of a friction assembly which is operated in drum-shoe brakes of vehicles intended for farm machinery.

Relying on experiments, heat loading effect of friction couples of drum-shoe brakes on their performance characteristics is depicted. Performance of thermoelectrical and combined (thermoelectrical and heat tube) cooling under continuous conditions of brake loading is evaluated. Designs of devices and systems for stimulating of friction brake assembly cooling are suggested.

Evaluation technique for thermoelectrical cooling of friction brake couples is devised. Friction lining of the friction brake shoes of vehicles with or without force cooling is presented as well.

Ключові слова: барабанно-колодкове гальмо, фрикційний вузол, інтенсифікація охолодження, термоелектричний ефект, напівелементи, термобатареї.



Б. Гольдманко А. К. МОНІТОРИНГ

Підписано до друку 14.11.96. Формат 60x84/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1,4. Умовн. фарбо-відб. 1,4. Тираж 100
прим. Замовлення 4505.

Обласна друкарня. 348040, Луганськ, вул. Ватутіна, 89а.

437568

AB 36.276