УДК 629.113.012.5.004.6

В. Б. Коханенко, *к.т.н., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0001-5555-5239)*
С. Ю. Рагімов, *к.т.н., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0002-8639-3348)*
О. А. Бурменко, *к.т.н., викл. каф. (ORCID 0000-0002-5014-2678)*
Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ШИН АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛІВ

Розглянуто особливі умови експлуатації аварійно-рятувальних автомобілів. Прийнято до розгляду, що ці автомобілі, аналогічно транспортним автомобілям, комплектуються сучасними шинами, які мають покращенні експлуатаційні характеристики. Однак, в експлуатації для таких шин притаманні втомливі руйнування складових шини. З'ясовано, що виникнення руйнувань збільшується зі збільшенням габаритів виробів, тобто для шин вантажних автомобілів, що не дозволяє реалізувати ресурс шин по зношенню протектора та робить їх небезпечними для подальшої експлуатації. Встановлено, що наявність дефектів погіршує тепловідвід з каркаса і з усіх шарів шини, чим підвищує їх термонапружений стан. Ці явища призводять до непередбаченого раптового виходу шин аварійно-рятувальних автомобілів з експлуатації. Тому, актуальною науково-технічною проблемою є попередження передчасного виходу шин з експлуатації. Запропоновано перевіряти дійсний стан шин під час періодичного діагностування технічного стану аварійно-рятувальних автомобілів та своєчасно вилучати з експлуатації дефектні шини. Проведено аналіз пошкоджень шин та методів визначення їх дефектів. Розроблено методи діагностики внутрішніх руйнувань шин аварійно-рятувальних автомобілів в умовах аварійно-рятувальних загонів. Встановлено, що визначати експлуатаційну придатність шини та оцінювати залишковий пробіг можливо за результатами виміру її поверхневих температурних полів. На підставі проведених досліджень розроблено метод діагностування наявності прихованих дефектів у шині в умовах аварійно-рятувальних загонів з використанням діагностичного стенду з біговими барабанами. Отримані дані дозволять поліпшити безпеку руху аварійно-рятувальних автомобілів при слідуванні до місця виклику, та є важливими, тому що питанням визначення залишкового ресурсу шин аварійно-рятувального автомобіля в експлуатації досі не займалися.

Ключові слова: діагностування, залишковий ресурс, аварійно-рятувальні автомобілі, загони, визначення пошкоджень шини, дефекти шин, експлуатація

1. Вступ

В дійсний час по дефектам композитів виходять з експлуатації 50–70 % шин [1], що не дозволяє реалізувати ресурс шини по зношенню протектора та робить їх непридатними для наступного відновлювального ремонту.

Збільшення швидкісних та навантажувальних характеристик сучасних аварійно-рятувальних автомобілів визначили необхідність перегляду конструкції їх шин. Так, в сучасних шинах стали застосовувати металокорд в брекері для збільшення жорсткості. Це дозволило зменшити вагу шини, збільшити навантаження на неї і швидкість її кочення. Однак, з'явилися і недоліки. Так, збільшилася кількість виходів шин з експлуатації через руйнування плечової зони і розшарувань в брекері. Однією з причин дефекту є підвищення термонапруженого стану шини, що спричиняє передчасний непередбачуваний вихід шини під час слідування оперативно-рятувального автомобіля до місця виклику. Це, в свою чергу, призводе до тяжких наслідків не лише оперативного розрахунку цього автомобіля, але й до загибелі людей, яких не встигли врятувати, та до втрати матеріальних цінностей через не приборкану пожежу, тощо.

Тому, недопущення передчасного виходу шин аварійно-рятувальних автомобілів з експлуатації є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У роботі [1] при дослідженні причин виходу шин з експлуатації встановлено, що наявність дефектів погіршує тепловідвід з каркаса і з усіх шарів шини, чим підвищує їх термонапружений стан. Ці явища призводять до непередбаченого раптового виходу шин аварійно-рятувальних автомобілів з експлуатації. Однак в роботі не вказано про необхідність вилучення з експлуатації дефектної шини та не проводиться розрахунок її залишкового ресурсу. Аналіз робіт з теплового розрахунку шин [1–3] показує, що достовірність розрахунків визначається, насамперед, точністю вихідної інформації, підготовка якої найчастіше є складнішим завданням, ніж рішення рівняння теплопровідності. Згідно [3] з підвищенням температури тепловіддача зростає, темп зростання температури зменшується, і через певний час температурне поле з прийнятими припущеннями стає стаціонарним. Однак, сталий режим шин наступає через певний тривалий час руху, що не відповідає режимам експлуатації аварійно-рятувальних автомобілів, що враховується під час проведених досліджень в даній роботі.

При циклічному навантаженні шини зростання розшарування або тріщини за природою є стрибкоподібним [4]. Поступове зростання тріщини, як правило, відбувається в моменти, коли сили, що діють на шину, набувають максимальних значень. Таким чином, зростання тріщини описується дискретним процесом [5]. Результати експериментальних досліджень використовують для подальшої розрахункової оцінки інтенсивності росту тріщин у шинах. Визначають конструктивні та фізичні характеристики шини (змінна товщина стінки покришки, малюнок протектора, місце посадки обода, теплопровідність гуми, її зчіпні властивості на молекулярному рівні). Однак, зростання тріщини визначається за умов стабільного режиму експлуатації, що є виключенням для аварійно-рятувальних автомобілів.

В [6] було розглянуто питання щодо досліджень міцності та удосконалення будови каркасу шини звичайних шин транспортних автомобілів. При цьому в рівняннях кочення має враховуватись вплив конструктивних особливостей шини: змінна товщина, неоднорідність структури, конструктивна анізотропність через різне положення ниток корду та шарів каркасу тощо [6].

Якщо не вважати фінального руйнування і великих стрибків, зумовлених різким збільшенням навантаження (наїзд на перешкоду, удар об край вибоїни), тріщини втоми ростуть досить повільно, що не дає змоги прогнозувати поведінку тріщини після наїзду на перешкоду.

З [7] випливає, що шину можливо представити як гнучку поверхню та нелінійними кінцевими елементами описати процес взаємодії шини з дорогою. Однак умови експлуатації шини розглядаються звичайні, без перевантажень, котрі притаманні аварійно-рятувальним автомобілям. Під час розрахунку шин необхідно враховувати дію на оболонку тиску повітря, внутрішнього тертя у матеріалі, температурних факторів та великих деформацій [9]. З одного боку, завдання з урахуванням зазначених особливостей є надзвичайно складним.

На підставі даних розрахунку в роботі [8] фізичні властивості шинних матеріалів розглядають в стаціонарних умовах експлуатації, без можливих дефектів їх поєднання в загальній конструкції шини, що не є припустимим в даній роботі. Автором була впорядкована класифікація основних розрахункових моделей шин. Подальшим етапом розробки математичної моделі діагональних шин використовували теорії ортотропних оболонок. На основі ортотропної оболонки вперше вивчили не тільки діагональні а й радіальні шини [9–10]. Автор стверджує, що вже

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

існує подібна модель шини, з урахуванням особливостей її конструкції. Однак, питання розрахунку моделі шини для особливих умов експлуатації на аварійно-рятувальних автомобілях не розглядається. Механізм руйнування шини можна представити у вигляді накопичення відносних переміщень шарів шини [10] між площинами ковзання доти, доки в напрямку ковзання не з'явиться тріщиноподібне включення. Декілька мікротріщин зливаються і розвиваються далі, чому сприяє концентрація напруг у вершині тріщини. Однак, такий підхід можливий під час сталого режиму експлуатації, що є швидше виключенням під час експлуатації аварійно-рятувальних автомобілів.

В [11] можливо визначити довготривалість роботи виробу до виходу його з експлуатації. Однак, необхідно мати дані з експерименту по термонапруженому стану шини, яка перебуває в складних умовах експлуатації, тобто з перевантаженнями на неї, зі значними швидкостями руху по поганих дорогах і таке інше.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є визначення факторів передчасного виходу з експлуатації та залишковому ресурсу шин аварійно-рятувальних автомобілів.

3. Мета та завдання дослідження

Мета дослідження полягає в розробці методу контролю і засобів діагностування технічного стану шин аварійно-рятувальних автомобілів, що дозволить оцінити їх залишковий ресурс, підвищити безпеку експлуатації, знизити час на проведення діагностування та спростити устаткування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– провести аналіз пошкодження шин в експлуатації та методів визначення їх дефектів;

– визначити залишковий ресурс шини за критерієм розвитку дефекту;

– розробити метод визначення пошкоджень шини в умовах аварійно-рятувальних загонів.

4. Матеріали та методи дослідження

Для проведення експериментальних досліджень залишкового ресурсу шин було підготовлено уніфікований для стендових і натурних випробувань комплект вимірювальної апаратури, використовувалися датчики для вимірювання температур [6], розроблені методики проведення експериментальних досліджень серійних і перебувавших в експлуатації шин. Дослідження проводилися на барабанному стенді для обкатки шин.

При проведенні експериментальних досліджень створювалися умови навантаження, відповідно експлуатаційних характеристик [5] (навантаження на колесо, внутрішній тиск повітря) і визначалися параметри напружено-деформованого і теплового станів шини (питомий тиск на ребрах протектора, деформації всередині і по боковині шини, її прогин, температура всередині і на поверхні гумового масиву шини, а також динаміка локальних змін температури в області дефекту) для порівняння з теоретичними результатами. Експериментальні дослідження проводилися на стендах з біговими барабанами випробувальної станції ВАТ «РОСАВА».

5. Аналіз пошкодження шин та методів визначення їх дефектів

Основними причинами пошкодження шин в експлуатації – виходу шин з

експлуатації є: руйнування через дефекти в плечовій зоні шини та дефекти в області борту; механічні пошкодження в експлуатації, а саме, порізи та розриви на боковині, проколи та відшарування протектора; втомні руйнування в елементах шин; інтенсивний, і навіть нерівномірний (односторонній чи хвилеподібний) знос протектора. Причинами виходу шин з ладу в експлуатації можуть бути механічні пошкодження, руйнування втоми в елементах шин і знос протектора. Ці причини призводять як до явних дефектів (пошкодження поверхні шини, розриви, порізи, нерівномірне зношування протектора), які становлять приблизно 48 % всіх дефектів і виявляються при зовнішньому огляді шини, так і до прихованих дефектів, що становлять 52 %, які важко піддаються діагностиці, та розробка методів виявлення яких є метою роботи.

Відсутність систематичного огляду та проведення встановленого обсягу технічного обслуговування шин призводить до того, що зовнішні сторонні предмети в протекторі, або дрібні механічні пошкодження від них, не виявляються і не видаляються. Згодом вони проникають углиб протектора і в каркас і поступово сприяють їхньому руйнуванню. Зрештою, невеликий отвір від порізу або проколу розростається, викликаючи розшарування боковин та відшарування протектора, частковий розрив каркасу, призводить до розшарування каркасу та пошкодження камери. При раптовому розриві шини у дорозі ці пошкодження можуть спричинити аварію автомобіля.

Вивчення пошкоджень шин і причин передчасного виходу їх з експлуатації дозволить розробити низку заходів, спрямованих на підвищення безпеки використання та збільшення ресурсу шин аварійно-рятувальних автомобілів.

Визначення дефектів шин полягає у перевірці відповідності показників їх якості встановленим вимогам. Засоби визначення дефектів шин, з метою забезпечення їх високої експлуатаційної надійності повинні відповідати загальним вимогам [13]: можливості здійснення ефективного контролю на різних стадіях виготовлення, експлуатації та ремонту шин; можливості контролю якості шин більшості заданих параметрів; узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання; високої вірогідності результатів контролю; можливості механізації та автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням зворотних сигналів; високої надійності апаратури для визначення дефектів та можливості використання її в різних умовах; простим методикам контролю, технічної доступності засобів контролю за умов виробництва, ремонту та експлуатації шин.

До основних методів визначення дефектів шин належать такі [12]:

1. Візуально-оптичний метод. Застосовується виявлення відносно великих тріщин, механічних пошкоджень поверхні, порушення суцільності.

2. Голографічний метод. Застосовується виявлення внутрішніх прихованих дефектів в шині.

3. Токовихревий метод. Застосовується виявлення відкритих і закритих поверхневих, і навіть внутрішніх дефектів.

4. Ультразвуковий імпульсний луна-метод. Застосовується виявлення внутрішніх прихованих дефектів, і навіть поверхневих тріщин.

5. Електричний метод. Використовується визначення наявності внутрішніх дефектів (цвяхів, порізів, ущільнень корда в каркасі шин).

6. Рентгенографічний метод. Застосовується виявлення внутрішніх дефектів металокордних шин.

7. Автогенераторний метод. Використовується визначення внутрішніх при-

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

хованих дефектів.

8. Тепловий (інфрачервоний) метод. Застосовується виявлення внутрішніх прихованих дефектів.

Для вибору методу визначення дефектів шин мають бути визначені види дефектів, що підлягають виявленню, зони контролю, їх характеристики та умови контролю. У визначенні наявності дефектів шин, для контролю гум та виробів з них найчастіше застосовують візуально-оптичні, токовихреві, ультразвукові та радіаційні методи, які дозволяють здійснювати суцільний контроль. Оптичний контроль наявності дефектів шин ґрунтується на аналізі взаємодії оптичного випромінювача з шиною. До дефектів, що виявляються неруйнівними оптичними методами, відносяться порожнечі (порушення суцільності), розшарування, пори, тріщини, включення сторонніх тіл, внутрішні напруження, зміни структури матеріалів та їх фізико-хімічних властивостей, відхилення від заданої геометричної форми.

Голографічна інтерферометрія використовується при відновлювальному ремонті шин, удосконаленні її конструкції, проведення стовідсоткового контролю деяких спеціальних шин та випробуванні зразків. При лазерній голографії визначаються дефекти на поверхні шини, що досліджується, а саме: обрив і оголення металокорду, бульбашки, пористість, завороти, нахлести.

Метод рентгенографії є надійним і швидким методом для виявлення нерівномірного розташування ниток у металокорді, визначення центрування шарів брекера, розрідження або нахльостування ниток корду, положення брекера, наявності сторонніх включень у гумі [13].

Потенційні можливості системи контролю методом ультразвукового імпульсного ехозондування дуже великі [8].

У науково-дослідному інституті великогабаритних шин розроблено портативні автогенераторні прилади зі змінними перетворювачами, що дозволяють контролювати суцільність бортових кілець і однорідність великогабаритних та понад великогабаритних шин, а також визначати наявність у них різних дефектів [9].

Якщо в контрольованій зоні шини є дефект, при потраплянні дефекту в зону поля токовихревого перетворювача відбудеться розбаланс схеми і індикатор приладу зафіксує сигнал. За рівнем сигналу та характером розподілу його за довжиною та шириною борту шини судять про розмір дефекту.

Найбільш перспективним, зручним, безпечним та економічним методом є метод інфрачервоного визначення дефектів, який ґрунтується на вимірі температурного поля шини. Шини з внутрішніми дефектами, щойно витягнуті з форми з повітряними бульбашками, випромінюють тепло рівномірно з усієї поверхні, аж до місця під дефектами.

Для проведення інфрачервоного дефектоскопічного контролю практично застосовуються різні випробувальні пристрої. Радіометром, наприклад, вимірюється температура в одній точці і шляхом пересування шини реєструється температура на поверхні підготовленої ділянки. Інфрачервоні промені можуть виявляти такі дефекти, як розшарування у боковині шини або в зоні заплічників, відшарування каркасу, а також інші ушкодження [10]. Шини за допомогою такого методу можуть досліджуватися як постійно, у процесі випробування, так і тимчасово з припиненням випробування для візуального обстеження. При цьому шини не потрібно знімати зі стенду (автомобіля), а тим більше руйнувати. Більшість перерахованих методів діагностування можуть застосовувати лише великих підприємствах. Використовувати їх для пошуку дефектів та визначення залишкової надійності шин в експлуатації надто дорого.

Винятком є метод інфрачервоного визначення дефектів шини. Він недорогий, простий та зручний в експлуатації, дозволяє досить швидко та точно сканувати поверхню шини та реєструвати її місця з дефектами.

6. Визначення залишкового ресурсу шини за критерієм розвитку дефекту

Інженерні способи оцінки надійності та ресурсу конструкцій базуються на напівемпіричних співвідношеннях та правилах. Не виняток і автомобільна шина. Механізм руйнування шини можна представити у вигляді накопичення відносних переміщень шарів шини між площинами ковзання доти, доки в напрямку ковзання не з'явиться тріщино подібне включення. Декілька мікротріщин зливаються і розвиваються далі, чому сприяє концентрація напруг у вершині тріщини. Напрямок поширення мікротріщин постійно змінюється до деякого середнього напрямку, що перпендикулярно розтягує максимальному напрузі. Як припущення вважатимемо, що зростання тріщини супроводжується лише одним типом її деформації, переважно першим, при якому тріщина розкривається симетрично та відносні переміщення протилежних берегів перпендикулярні поверхні тріщини.

Вважаємо, що циклічній зміні поля напруги відповідає зміна коефіцієнта інтенсивності $_{\Delta}K$ в межах від $K_{макс}$ до $K_{мін}$. Геометрія тріщини визначається лише її довжиною l, отже поточна інтенсивність зростання тріщини визначається збільшенням довжини за оборот колеса швидкістю зростання dl/dN. При висловлених припущеннях введемо функціональну залежність [7]:

$$\frac{dl}{dN} = f\left({}_{\Delta}K, K_{макс}, K_c, {}_{\Delta}K_{th}, E, \nu, \sigma_T, \sigma_B, \sigma_d, m\right), \tag{1}$$

де ν – коефіцієнт Пуассона; σ_T – межа плинності матеріалу; σ_B – межа витривалості матеріалу; σ_d – пластичність матеріалу; K_c – в'язкість руйнування; m – показник зміцнення; $_{\Delta}K_{th}$ – граничне значення коефіцієнта інтенсивності напруг для підростання тріщини.

Розкриття тріщини, при її навантаженні, визначається виразом [7]:

$$\delta = K_1^2 / \left(E\sigma_T\right), \tag{2}$$

а її зростання лінійно залежить від її розкриття.

Якщо δ в процесі навантаження шини перевищує деяке граничне значення δ_t, то постійне збільшення Δl довжини тріщини при розвантаженні не змінюється [7]:

$$\Delta l \approx \delta_{max} - \delta_t. \tag{3}$$

З урахування виразів 2 та 3 отримуємо:

$$\frac{dl}{dN} = \frac{A}{E\sigma_T}\left[\left({}_{\Delta}K\right)^2 - \left({}_{\Delta}K_{th}\right)^2\right], \tag{4}$$

де A – Константа матеріалу [8].

Замінивши в останньому отриманому вираженні константу матеріалу на коефіцієнт C_1, що залежить від числового параметра n [9], отримаємо так званий закон Періса:

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

$$\frac{dl}{dN} = C_1\left[\left({}_{\Delta}K\right)^n - \left({}_{\Delta}K_{th}\right)^n\right]. \quad (5)$$

Визначимо співвідношення, що зв'язує довжину тріщини l та число циклів N навантаження шини при заданому розмаху циклу деформацій ε.

Вважаємо, що вплив порогового значення коефіцієнта інтенсивності напруги ${}_{\Delta}K_{th}$ для підростання тріщини мало, тоді інтегрування формули (5) дозволяє визначити:

$$N - N_0 = \int_{l_0}^{l} \frac{dl}{C_1\left({}_{\Delta}K\right)^n}, \quad (6)$$

де N_0 – число циклів, які можна реалізовані до створення тріщини довжиною l_0.

Число циклів на початок зростання тріщини N_0 невідома величина, характеризує наявність початкових дефектів у шині на початок експлуатації, тобто характеристика якості виробництва шини.

Повне руйнування шини відбувається у той час, коли максимальний коефіцієнт інтенсивності напруг дорівнює в'язкості руйнації.

Якщо вважати, що розмах коефіцієнта інтенсивності напруги для внутрішньої тріщини еліптичної форми визначається за залежністю [10]:

$${}_{\Delta}K = 1{,}12\varepsilon\sqrt{\pi l}/E_2\,, \quad (7)$$

де E_2 – повний еліптичний інтеграл другого роду від аргументу $\sqrt{1-(\delta/2)^2/(l/2)^2}$, то після підстановки (7) до (6) та інтегрування отримаємо:

$$N = \begin{cases} \dfrac{l_0}{C_1\left(1{,}12\varepsilon\sqrt{\pi l_0}/E_2\right)^n (n-2)}\left[1-\left(\dfrac{l_0}{l}\right)^{n/2-1}\right], n > 2; \\ \dfrac{l_0}{C_1\left(1{,}12\varepsilon\sqrt{\pi l_0}/E_2\right)^n}\ln\dfrac{l}{l_0},\ n = 2. \end{cases} \quad (8)$$

У разі, якщо критична довжина тріщини значно більша за початкову ($l_c >> l_0$), число циклів до руйнування визначиться залежністю:

$$N_c = \frac{l_0}{\varepsilon^n}\left\{C_1\left[\sqrt{\pi l_0}\,\frac{1{,}12}{E_2}\right]^n\left(\frac{n}{2}-1\right)\right\}. \quad (9)$$

Пробіг шини до повного руйнування внаслідок розвитку дефекту до критичного значення дорівнює:

$$L = 2\cdot 10^{-3}\cdot\pi R_k\cdot N_C\,, \text{тис. км}\,. \quad (10)$$

З огляду на те, що деформації можна визначити через температуру [12]:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2CC_{\Delta} t}{0{,}15E_{\infty}\nu_{\Delta}\tau}} \tag{11}$$

і підставивши вираз 11 в 10, отримаємо остаточну формулу для визначення пробігу шини до повного руйнування через температуру:

$$L = 2\cdot 10^{-3}\cdot \pi R_k \frac{l_0}{\left(\sqrt{\frac{2CC_{\Delta} t}{0{,}15E_{\infty}\nu_{\Delta}\tau}}\right)^n}\left\{C_1\left[\sqrt{\pi l_0}\frac{1{,}12}{E_2}\right]^n\left(\frac{n}{2}-1\right)\right\}. \tag{12}$$

Результати розрахунків температурних полів різних шин із радіальним та коловим дефектами представлені на рис. 1–2.

З рис. 1, на якому представлено розподіл температури шини 210×508R у зоні брекерного плеча, випливає, що найбільші температури знаходяться у плечовій зоні та у зоні кромок брекера шини. Розподіл температури шини 205/70R14 у зоні боковини (рис. 2) підтверджує те, що наявність дефекту підвищує температурний стан у цій зоні [13].

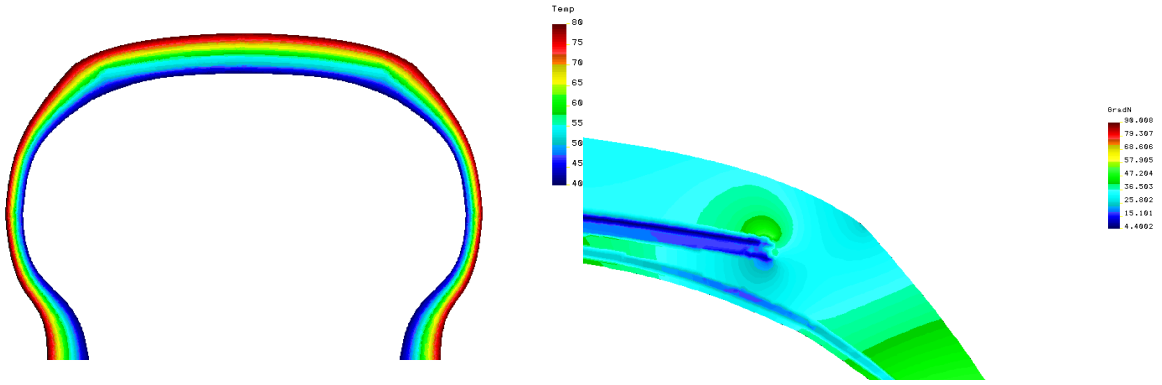

Рис. 1. Розподіл температури шини 210×508R у зоні брекерного плеча

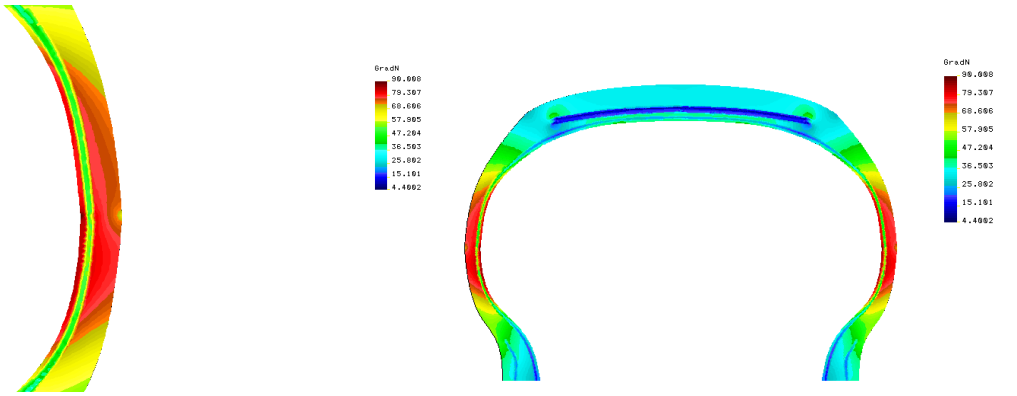

Рис. 2. Розподіл температури шини 205/70R14 у зоні боковини

Встановлено, що експериментальні вимірювання температури необхідно проводити на мінімальній відстані від дефекту. Перепад температур з відривом до 15 мм від дефекту становить в середньому 3–5 градусів, що свідчить про можли-

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

вість діагностування працездатності шини інфрачервоним методом. Прогнозований залишковий пробіг шини 210/508R з різними видами дефектів, отриманий в результаті розрахунків, зведений в табл. 1.

Достовірний результат про величину пробігу шини, що залишився, до виходу з експлуатації залежить від вибору критичного розміру дефекту, який може бути визначений або з досвіду експлуатації шин, або виходячи з вимог, що пред'являються до прийому шини на відновлювальний ремонт.

Експлуатація шини, після визначення ресурсу, що залишився, повинна здійснюватися без перевищення нормальних умов навантаженості роботи шини. За значеннями табл. 1 побудовано гістограми розподілу залишкового пробігу шини 210×508R з дефектом, представлені на рис. 3.

Температурні поля в області бортового кільця шини аналогічні боковині та мають значення температури дещо нижчі. Працюючи борт шини відчуває невеликі деформації і тому внутрішні джерела тепла невеликі.

В табл. 2 представлено розподіл температури в ізолінії у перерізі різних шин. Максимальні температури в оболонці шини виникають у зоні плеча та протектора. Збільшення навантаження на шину і зміна внутрішнього тиску повітря в шині призводить до підвищення її температури.

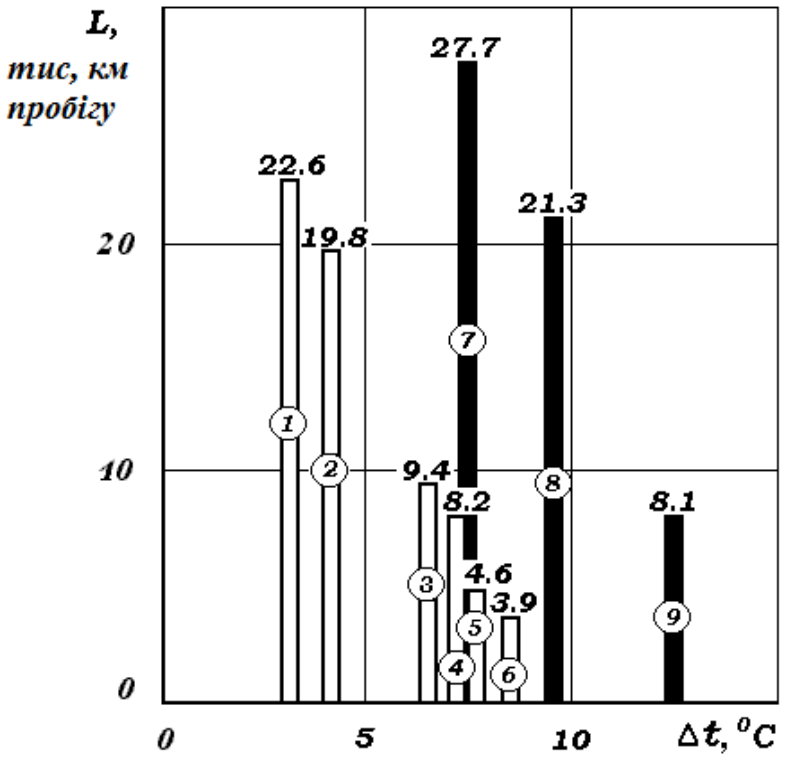

Рис. 3. Прогнозований залишковий пробіг шини 210×508R з лінійним дефектом на боковині – □ та з коловим дефектом у плечовій зоні – ■ до розвитку його критичного розміру: 1, 2 – дефекти довжиною 10 мм радіального та кругового розташування відповідно; 3, 4 – дефекти довжиною 20 мм радіального та кругового розташування відповідно; 5, 6 – дефекти довжиною 30 та 20 мм радіального та кругового розташування відповідно; 7. 8, 9 – дефекти на кромках брекера завдовжки 3, 5, 10 мм відповідно

Підвищення температури шини в ділянці борту до високих значень можливе лише внаслідок підвищення температури диска, на якому вона встановлена. Збільшення тиску повітря призводить до підвищення температури до 1 % у легкової шини та 3 % збільшення для вантажної шини.

Табл. 1. Прогнозований залишковий пробіг шини 210×508R з дефектом

Довжина, мм	Розташування	Приріст температури, ^{0}C	Критичний розмір, мм	Залишковий пробіг, тис. км
Лінійний дефект на боковині шини				
10	Радіальне	3,5	50	22,6
10	Колове	4,1	50	19,8
20	Радіальне	6,4	50	9,4
20	Колове	7,2	50	8,2
30	Радіальне	7,6	50	4,6
20	Колове	8,2	50	3,9
Внутрішній коловий дефект в плечовій зоні шини				
3	Крайки брекера	7,4	15	27,7
5		9,6	15	21,3
10		12,4	15	8,1

Табл. 2. Значення температури в ізолініях у перерізі шини

Розмір шини	Значення температури в ізолініях, ^{0} C							
	A	B	C	D	E	F	K	L
165/70R13	31,6	37,8	44,6	48,7	54,1	58,3	62,8	74,2
175/70R13	32,4	39,5	45,1	51,2	57,9	61,4	65,3	76,3
185/70R13	33,6	39,9	47,9	53,3	62,3	65,2	69,1	78,2
205/70R14	35,1	41,3	48,1	56,9	64,1	67,7	70,9	79,9
210×508 R	37,9	45,4	54,8	59,4	68,2	72,1	81,7	88,2

Отримані дані щодо температурного стану шини досить добре описують роботу шини в експлуатації, проте застосування для розрахунку багатошарової анізотропної оболонки призводить до усереднення фізико-механічних характеристик пакета, що знижує точність розрахунку. Оцінити внесок у температурне поле шини окремого елемента конструкції важко і визначається свідомо приблизно.

7. Розробка методу визначення пошкоджень шини в умовах аварійно-рятувальних загонів

Для визначення пошкоджень шини в умовах аварійно-рятувальних загонів пропонується використовувати інфрачервоний метод, який заснований на вимірюванні температурного поля поверхні шини. Оскільки внутрішні процеси, що відбуваються в шині, відбиваються і на її поверхні, то за температурними змінами на поверхні шини можна будувати висновки про наявність в ній прихованих дефектів, а значить і про її технічний стан.

Інфрачервоний метод дозволяє визначати експлуатаційні дефекти такі як, розшарування боковини шини та зони плеча, відшарування каркаса та протектора, а також виробничі такі як, порушення суцільності гумових деталей шини, утворення повітряних бульбашок усередині гумового масиву шини внаслідок поганого притискання роликами на складальному барабані каркаса протектора [10]. Як тільки утворилося розшарування, відразу ж між шарами, що відшаровуються, виробляється тепло, яке сприяє поширенню відшаровування або в боковині, або в підпротекторному шарі.

Якісний процес діагностування технічного стану шин неможливий без попереднього діагностування частин та вузлів автомобіля, на якому вони встановлені.

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

Тому діагностування технічного стану шин включає діагностику частин та вузлів автомобіля, що впливають на роботу шин.

Метод визначення прихованих дефектів у шині по поверхневих температурних полях повинен проводитись у такій послідовності.

1. Перевірка технічного стану ходової частини автомобіля:

– стан рами (кузова) автомобіля та відповідність початковій формі; – співвісність мостів та їх кріплення до рами (кузова) автомобіля; – стан елементів підвіски; – прогин ресор (пружин) підвіски; – стан дисків шин та їх кріплення до ступиць (напівосей); – стан та характер зносу рисунка протектора, а також зовнішній вигляд боковини шин, які є діагностичним параметром їх працездатності та стану маточин (напівосей), на яких вони встановлені; – стан маточин коліс і люфтів в їх підшипниках.

2. Перевірка кутів установки керованих коліс:

– наявність несправностей у підвісці коліс, реактивних штангах; – зазорів у сполучених деталей кріплення коліс та рульового приводу; – стан гумових виробів «сайленблоків» підвіски автомобіля.

2.1. Перевірка кутів установки керованих коліс автомобілів зі шкворневим з'єднанням: – кути сходження; – люфти у шкворневих з'єднаннях (не повинно бути); – легкість обертання керованих коліс.

2.2. Перевірка кутів установки керованих коліс автомобілів за відсутності шкворневого змєднання: – кути сходження; – кути розвалу; – люфти в кульових опорах (не повинно бути); – легкість обертання керованих коліс;

3. Перевірка стану шин:

– відсутність сторонніх предметів між здвоєними шинами; – наявність сторонніх предметів у самих шинах (скоби, цвяхи, каміння); – цілісність шин;

– наявність опуклостей (гриж) з боковин шин; – відповідність внутрішнього тиску повітря у шинах нормативному; – відповідність навантаження на шини нормативним значенням; – відповідність обідь шин нормативним значенням; – герметичність шин (камер).

4. Перевірка працездатності всього діагностичного устаткування (за потреби регулювання).

Послідовність діагностування технічного стану шини:

1) Автомобіль під час перевірки гальмівних властивостей встановлюється на стенд з біговими барабанами, яке колеса піддаються коченню протягом 10 хв. зі швидкістю не менше ніж 20 м/с.

2) Реєструється загальне температурне поле боковини та протектора.

3) Визначаються місця із підвищеною зовнішньою температурою на шині.

4) У разі поверхневого дефекту визначаються його геометричні розміри та визначається потужність, з метою прогнозування залишкового ресурсу шини.

5) У разі внутрішнього дефекту проводиться порівняння його розмірів із розмірами дефекту, що допускається правилами експлуатації шини.

6) Проводиться висновок про технічний стан автомобільної шини за результатами її зовнішнього огляду та діагностування.

7) Проводиться розрахунок прогнозування залишкового ресурсу шини за наявності дефекту.

Примітка. За наявності несправностей ходової частини, кермового керування, або шини – автомобіль знімається з діагностування.

8. Обговорення результатів визначення ресурсу шини за критерієм розвитку дефекту

В роботі розглянуто особливі умови експлуатації аварійно-рятувальних автомобілів. При цьому прийнято, що пожежно-рятувальні автомобілі комплектуються сучасними шинами, які мають покращенні експлуатаційні характеристики. З'ясовано, що виникнення руйнувань збільшується зі збільшенням габаритів виробів, тобто для шин вантажних автомобілів, що не дозволяє реалізувати ресурс шин по зношенню протектора та робить їх небезпечними для подальшої експлуатації. Отримані результати пояснюються тим, що в зоні дефекту (як зовнішнього, так і внутрішнього) по відношенню до бездефектних зон буде перевищення температурного стану шини. Встановлено, що температура на поверхні в області локального джерела тепла швидко зменшується у відповідності з функціями Бесселя, тому експериментальні вимірювання температури необхідно проводити на мінімальній відстані від дефекту. Перепад температур з відривом до 15 мм від дефекту становить в середньому 3–5 градусів, що свідчить про можливість діагностування працездатності шини інфрачервоним методом.

Розроблено методи діагностики внутрішніх руйнувань шин аварійно-рятувальних автомобілів в умовах аварійно-рятувальних загонів. Встановлено, що визначати експлуатаційну придатність шини та оцінювати залишковий пробіг можливо за результатами виміру її поверхневих температурних полів.

На підставі проведених досліджень розроблено метод діагностування наявності прихованих дефектів у шині в умовах аварійно-рятувальних загонів з використанням діагностичного стенду з біговими барабанами. Так, було встановлено, що збільшення навантаження на шину до 25 % призводить до підвищення температури в бортовій ділянці до 3 % і становить для шини 165/70R13 – 31,60 °С; для шини 175/70R13 – 32,40 °С; для шини 185/70R14 – 33,60 °С; для шини 205/70R14 – 35,10 °С, а для вантажної шини 210×508R це збільшення становить до 10 % і досягає 37,90 °С.

Проведеним дослідження притаманні певні обмеження, оскільки експериментальні дослідження проводилися на барабанному стенді для обкатки шин, а не в дорожніх умовах. Під час проведення досліджень підтримувався сталий режим, без різкого гальмування та різкого рушання з місця, без зсуву шини по дорожній поверхні, взаємодія шини відбувалася зі сталевим барабаном, а не з бетонною чи асфальтовою поверхнею дороги. Однак, всі ці упущення можливо врахувати спеціальними коефіцієнтами.

Подальша робота планується в проведенні експериментальних досліджень по розподілу температури в різноманітних моделях шин, якими комплектуються аварійно-рятувальні автомобілі, та в розробці температурних карток на ці моделі шин в плині часу та їх загального пробігу. Це значно прискорить і спростить визначення подальшої придатності шин, які перевіряються в аварійно-рятувальних загонах. Однак, не завжди буде можливість аварійно-рятувальним автомобілям прибути в аварійно-рятувальний загін для визначення технічного стану шин, враховуючи теперішній стан, а також значні відстані у відділених Державних пожежно-рятувальних частинах від аварійно-рятувальних загонів.

9. Висновки

1. За результатами аналізу причин виходу шин з експлуатації встановлено, що основними причинами можуть бути механічні пошкодження, руйнування

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

втоми в елементах шин і знос протектора. Ці причини призводять як до явних дефектів, які виявляються при зовнішньому огляді шини, так і до прихованих дефектів, які важко піддаються діагностиці, та розробка методів виявлення яких є метою справжньої роботи. Відсутність систематичного огляду та проведення встановленого обсягу технічного обслуговування шин призводить до того, що шини передчасно і непередбачувано виходять з експлуатації. Проведений аналіз методів визначення дефектів через контроль температурного стану шин в експлуатації показує, що найбільш простими, надійними, безпечними та економічними є контактні та безконтактні інфрачервоні методи, які дозволяють визначити не лише зовнішні, а й внутрішні дефекти.

2. Встановлена нерівномірність розподілу температурних полів по перетину шини: максимальна температура на поверхні шини в 1,4 рази менше максимальної температури всередині її гумового масиву. Експериментально підтверджено перевищення температурного стану шини в зоні дефекту (як зовнішнього, так і внутрішнього) по відношенню до бездефектних зон в межах 3–5 ^{0}C, що дає можливість його інструментального визначення. Термонапружений стан боковини й кромок брекера шини аварійно-рятувального автомобіля підтверджується збільшенням їх температури на 22–23 % в порівнянні з температурою в центрі шини. У роботі вирішено науково-технічне завдання визначення залишкового ресурсу шини за критерієм розвитку дефекту до граничного. Достовірний результат про значення залишкового ресурсу, а саме пробігу шини до виходу з експлуатації залежить від критичного розміру дефекту, котрий може бути визначений з попиту експлуатації шин.

3. Розроблено метод визначення дефектів шини за поверхневими температурними полями в умовах аварійно-рятувальних загонів спеціального призначення з використанням діагностичного стенду з біговими барабанами. Оцінити придатність шин до подальшої експлуатації за значеннями поверхневих температурних полів можливо після 15–20 хвилин з початку їх кочення по біговому барабану зі швидкістю V = 40 км/год. Термонапружений стан центру шини вантажного автомобіля підтверджується підвищенням його температури на 32–37% порівняно з боковиною та на 9–25 % порівняно з кромками брекера 10.00 R20 та 12.00 R20. Запропонований метод діагностики прихованих дефектів шин дозволить своєчасно вилучати з експлуатації дефектні шини, чим значно підвищить надійність та безпеку руху аварійно-рятувальних автомобілів.

Література

1. Коханенко В. Б., Рагімов С. Ю. Вплив дефектів в шині на безпеку руху аварійно-рятувального автомобіля. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. Вип. 35. С. 186–197. doi:10.52636/2524-0226-2022-35-14

2. Behnke R., Kaliske M. Termo-mechanically coupled investigation of steady state rollingtires tires by numerical simulation and experiment. International journal of nonlinearmechanics. 2015. Vol. 68. P. 101–131. doi:10.1016/j.ijnonlinmec.2014.06.014

3. Integrated dynamic sand efficiency optimizati on for EVs Vehicle dynamics international. 2019. P. 38–39. doi:10.1002/asjc.1686

4. Pozhydayew. S. Utochnennya ponyattya momentu syly u mekhanitsi. Clarification of the conceht of forse momentin mechanics. Avtoshlyakhovyk Ukrainy. P. 21–25. doi:10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.21

5. Wheel slip control for decentralized EVs. Vehicle dynamics international. 2019.

P. 24–26.

6. Larin O., Vinogradov S., Kokhanenko V., Pat. 82321 Ukraine, IPC (2013.01) B60C 23/00. Adjustment for temperature adjust mentin pneumatictires / applicant and patent holder of the National University of Civil Societyof Ukraine. № u201302439, applicationno. 02.26.2013; publ. 07.25.2013, Bul. № 14.

7. Burennikov Y., Burennikov jr. A., Dobrovolsky and other. Business process esperfection of small motor transport enterprises. Bulletion of the polytechnic institute of Iasi. 2011. Tomul LVII (LXI), Fasc. 2. P. 237–243. doi:10.1080/00207543. 2011.645954

8. Dong-Hyun Y., Beom-Seon J., Ki-Ho Y. Nonlinear finite element analysis of failure modes and ultimate strength of flexible pipes. Marine Structures. 2017. Vol. 54. P. 50–72. doi:10.1016/j. marstruc.2017.03.007

9. Haseeb A., Jun T., Fazal M., Masjuki H. Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. Energy. 2011. Vol. 36(3). P. 1814–1819. doi:10.1016/j.energy.2010.12.023

10. Cho J., Yoon Y. Largede for mationanaly sisofanis otropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. Journal of Mechanical Science and Technology. 2016. Vol. 30(2). P. 789–795. doi:10.1007/s.12206–016–0134–5

11. Larin O. Probabilisti coffatigue damage accumulationin rubber like materials. Strength of Materials. 2015. Vol. 47. 849–858. doi:10.1007/s11223–015–9722–3

12. Jacobson B. Vehicledynamics. Chalmers University of Technology. 2016.

13. Коханенко В. Б., Качур Т. В., Рагімов С. Ю. Вплив конструкції шини на безпеку руху аварійно-рятувального автомобіля. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. Вип. 33. С. 267–277. doi:10.52636/2524-0226-2021-33-21

V. Kokhanenko, *PhD, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department*
S. Ragimov, *PhD, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department*
O. Burmenko, *PhD, Senior Lecturer of the Department*
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

DETERMINATION OF REMAINING TIRE RESOURCE EMERGENCY RESCUE VEHICLES

The special conditions of operation of emergency and rescue vehicles are considered. It is accepted for consideration that these cars, similar to transport cars, are equipped with modern tires that have improved operational characteristics. However, tiresome destruction of the tire components is inherent in the operation of such tires. It was found that the occurrence of destruction increases with the increase in the dimensions of the products, that is, for truck tires, which does not allow to realize the resource of tires due to tread wear and makes them dangerous for further operation. It was established that the presence of defects worsens the heat dissipation from the frame and from all layers of the tire, which increases their thermal stress state. These phenomena lead to the unexpected sudden exit of tires of emergency and rescue vehicles from operation. Therefore, prevention of premature retirement of tires is an urgent scientific and technical problem. It is proposed to check the actual condition of tires during periodic diagnostics of the technical condition of emergency and rescue vehicles and to remove defective tires from service in a timely manner. An analysis of tire damage and methods of determining their defects was carried out. The methods of diagnosing the internal destruction of tires of emergency and rescue vehicles in the conditions of emergency and rescue squads have been developed. It was established that it is possible to determine the serviceability of a tire and estimate the remaining mileage based on the results of measuring its surface temperature fields. On the basis of the conducted research, a method of diagnosing the presence of hidden defects in the tire in the conditions of emergency and

© В. Б. Коханенко, С. Ю. Рагімов, О. А. Бурменко

rescue squads using a diagnostic stand with running drums has been developed. The obtained data will allow to improve the safety of emergency and rescue vehicles when following them to the place of call, and are important because the question of determining the remaining tire life of an emergency and rescue vehicle in operation has not yet been addressed.

Keywords: diagnostics, residual resource, emergency and rescue vehicles, squads, identification of tire damage, tire defects, operation

References

1. Kokhanenko, V. B., Ragimov, S. Yu. (2022). The influence of tire defects on Traffic safety emergency rescue car. Problemni nadzvichajnih situacij, 35, 186–197. doi:10.52636/2524-0226-2022-35-14

2. Behnke, R., Kaliske, M. (2015). Termo-mechanically coupled investigation of steady staterolling tires bynumerical simulationand experiment. International journal of non-linearmechanics, 68, 101–131. doi:10.1016/j.:ijnonlinmec.2014.06.014

3. Integrated dynamic sand efficiency optimizati on for EVs Vehicle dynamics international. (2019). 38–39. doi:10.1002/asjc.1686

4. Pozhydayew, S. (2018). Utochnennya ponyattya momentu syly u mekhanitsi. Clarification of the conceht of forse momentin mechanics. Avtoshlyakhovyk Ukrainy, 21–25. doi:10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.21

5. Wheel slip control for decentralized EVs. (2019). Vehicle dynamics international, 24–26.

6. Larin, O., Vinogradov, S., Kokhanenko, V. (2013). Pat. № 82321 Ukraine, IPC B60C 23/00. Adjustment for temperature adjustment in pneumatic tires / applicant and patent holder of the National University of Civil Society of Ukraine. №. u201302439, declareted: 02.26.2013; published: 07.25.2013, Bul. № 14.

7. Burennikov, Y., Burennikov jr, A., Dobrovolsky and other. (2011). Business processes perfection of small motor transport enterprises. Bulletion of the polytechnic institute of Iasi. Tomul LVII (LXI), Fasc, 2, 237–243. doi:10.1080/ 00207543.2011.645954

8. Dong-Hyun, Y., Beom-Seon, J., Ki-Ho, Y. (2017). Nonlinear finite element analysis of failure modes and ultimate strength of flexible pipes. Marine Structures, 54, 50–72. doi:10.1016/j.marstruc.2017.03.007

9. Haseeb, A., Jun, T., Fazal, M., Masjuki, H. (2011). Degradation of physical properties of different elastomers upon exposure to palm biodiesel. Energy, 36, 3, 1814–1819. doi:10.1016/j.energy.2010.12.023

10. Cho, J., Yoon, Y. (2016). Large deformation analysis of anisotropic rubber hose along cyclic path by homogenization and path interpolation methods. Journal of Mechanical Science and Technology, 30, 2, 789–795. doi:10.1007/s.12206–016–0134–5.

11. Larin, O. (2015). Probabilisti coffatigue damage accumulationin rubberlike materials. Strength of Materials, 47, 6, 849–858. doi:10.1007/s11223–015–9722–3

12. Jacobson, B. (2016). Vehicledynamics. Chalmers University of Technology.

13. Kokhanenko, V. B., Kachur, T. V., Ragimov, S. Yu. (2021). Influence of tire design on traffic safety of emergen cyrescue vehicle. Problemni nadzvichajnih situacij, 33, 267–277. doi:10.52636/2524-0226-2021-33-21

Надійшла до редколегії: 20.10.2022
Прийнята до друку: 16.11.2022