

УДК 629.113.012.5.004.6

*В. Б. Коханенко, к.т.н., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0001-5555-5239)**Б. І. Кривошей, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2561-5568)*

## АНАЛІЗ ХАРАКТЕРНИХ ДЕФЕКТІВ ШИН ПОЖЕЖНИХ АВТОЦИСТЕРН ТА МЕТОДИКА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Визначені характерні дефекти шин, котрі виникають через специфічні режими експлуатації аварійно-рятувальних машин і пожежних автоцистерн, розроблена методика по їх визначенню в умовах роботи державних пожежно-рятувальних частин. На-сьогодні, стан шин визначають в дослідницьких лабораторіях та за допомогою спеціального обладнання. Контроль за шинами, котрі знаходяться в експлуатації підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, не проводиться. Встановлено, що більшість шин пожежних автоцистерн знаходяться в експлуатації довше, ніж вказано заводом-виробником, оскільки мають ще незношений протектор. Отже, внутрішній стан таких шин ненадійний, з наявними дефектами, з втратою гумового матеріалу шини, котрі не можливо виявити без спеціального обладнання. Обставини, пов'язані з проведенням воєнних дій, призводять до руху пожежних автоцистерн по пошкодженій (в результаті ворожих обстрілів) поверхні дороги, на підвищеній швидкості руху та з ваговими перевантаженнями, що впливає на перевищення температурного стану шин. Висока температура прискорює розростання дефектів до критичних розмірів та призводить до руйнування шин. Отже, слідкувати за їх зовнішнім станом замало, оскільки в шинах накопичуються внутрішні втомливі руйнування та дефекти виробництва. В результаті проведених досліджень встановлено, що теплове випромінювання шини вказує на наявність внутрішніх руйнувань, тобто, дає змогу визначати її цілісність. Вирішено науково-практичне завдання по створенню методики визначення прихованих дефектів в шині. Розроблена методика визначення прихованих дефектів саме в шинах пожежних автоцистерн дозволить визначати їх експлуатаційну придатність. Результати досліджень, підвищать безпеку слідування пожежних автоцистерн до місця виклику та під час виконання дій за призначенням. Ці дані є дуже важливими, оскільки знижують вірогідність непередбаченого раптового виходу шин пожежних автоцистерн з експлуатації.

**Ключові слова:** пожежна автоцистерна, радіальна шина, теплове випромінювання, дефекти, надійність, розшарування, безпека

### 1. Вступ

Експлуатація спеціального аварійно-рятувального та пожежного транспорту в сьогоднішніх умовах, супроводжених воєнними діями, викликає багато складнощів. Це як умови слідування до місця виклику, так і проведення дій за призначенням під час обстрілів, а також рух по пошкодженій в результаті обстрілів поверхні дороги і слідування на підвищених швидкостях руху з ваговими перевантаженнями. Тому на шини аварійно-рятувальних машин та пожежних автоцистерн діють значні, непередбачені заводом-виробником, навантаження. Через порушення правил експлуатації збільшилась кількість виходів шин з експлуатації, а саме по причині наявних в ній внутрішніх прихованих дефектів, котрі призводять до руйнування шин.

Таким чином, передчасне руйнування шин пожежних автоцистерн є актуальною проблемою.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

У загальному вигляді принцип термометричної діагностики подають у вигляді ідентифікації аномального розподілу температур з еталонними, які відповідають різним видам дефектів.

Аналіз основних факторів, які викликають передчасний вихід шин з експлуатації показує, що значний відсоток руйнувань радіальних шин, котрі встанов-

люються на пожежних автоцистернах, відбувається саме через дефекти виробництва, а це і є внутрішні дефекти шин [1].

В роботі [1] встановлено, що основна робота, яка затрачується на кочення шини, перетворюється в тепло, яке викликає загальне підвищення температури шини. Критичною температурою в шині, яка утворює розрив ниток корда є перевищення температури вулканізації шини, а саме 115 °С. Але авторами не розглядаються питання розподілу тепла по поверхні шини.

В [2] визначено, що інтенсивність теплоутворення в шині яскраво проявляється на початку руху шини, при збільшенні швидкості кочення, коли її температура дорівнює температурі навколишнього середовища. У цей момент теплоутворення значно більше тепловіддачі, і температура шини швидко зростає. Тому визначати конструктивні особливості шин бажано на початку їх кочення. Нажаль, в роботі не розглядається питання впливу дефектів на теплове поле шини.

В роботі [3] встановлено, що з підвищенням температури тепловіддача зростає, темп зростання температури сповільнюється. Таким чином, розподіл температури може характеризувати наявність прихованих дефектів таких, як їх порожнини, тріщини, додаткові джерела тепла. Однак, автори не розглядають питання подальшого розростання дефектів, котрі потім досягають критичних розмірів і через ці дефекти шина руйнується.

Дані роботи [5] свідчать про те, що автори досліджували властивості міцності та питання вдосконалення каркасу шин транспортних автомобілів в спокійних умовах експлуатації. Але ж для шин пожежних автоцистерн притаманні екстремальні умови експлуатації, котрі супроводжуються значними перевантаженнями. Тому, слід провести додаткові дослідження.

Як вказано в роботі [6], процес взаємодії шини з дорогою можливо описати за допомогою кінцевих елементів. Однак, авторами розглядаються умови експлуатації шини без дефектів, котрі притаманні шинам з металокордом в брекері і котрі встановлюються на пожежних автоцистернах.

Фізичні властивості шинних матеріалів, як слідує з роботи [7], розглядають в стаціонарних умовах експлуатації, без можливих дефектів їх виготовлення і поєднання в загальній конструкції шини. Ці обставини вимагають уточнень і для застосування в роботі недостатні.

Автор [8] роботи стверджує, що вже існує подібна модель шини, з урахуванням особливостей її конструкції, а саме анізотропних властивостей. Однак, питання розробки спеціальної моделі шини для особливих умов експлуатації, притаманних шинам пожежних автоцистерн, не розглядаються.

З результатів досліджень [9] роботи слідує, що автори вже розглядали питання безпеки експлуатації пожежних автоцистерн, однак, їх увазі підлягала зміна конструкції шини та її вплив на термонапружений стан шини, що досліджується. Питання впливу внутрішніх дефектів на температурні поля шини, можливий пошук цих дефектів не висвітлювалися.

Таким чином, постала необхідність у з'ясуванні впливу дефектів шини на її загальне теплове поле, можливості їх визначення й своєчасного вилучення з експлуатації шин з критичними дефектами, і, як наслідок, – підвищенню безпеки експлуатації та успішному виконанню дій за призначенням на пожежних автоцистернах.

Тому, виникає необхідність розробки методики, підбір приладів і обладнання для встановлення якісного контролю за станом шин пожежних автоцистерн в умовах ДПРЧ.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою дослідження є з'ясування впливу дефектів в елементах шин вантажних автомобілів на безпеку руху пожежних автоцистерн та визначення їх місця знаходження.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення наступні завдання:

- проаналізувати фактори, котрі обмежують пробіг шин пожежних автоцистерн;
- дослідити вплив дефектів в шині на її температурне поле;
- розробити методику визначення прихованих дефектів шин пожежних автоцистерн.

### 4. Матеріали та методи дослідження

Об'єкт дослідження – шина пожежних автоцистерн з наявними дефектами.

Предметом дослідження є взаємодія шин пожежних автоцистерн з дорожньою поверхнею під час руху та вплив на неї режимів експлуатації, внутрішніх дефектів та зовнішніх небезпечних факторів під час виконання дій за призначенням.

Робочою гіпотезою було прийнято те, що на безпечну взаємодію шини з опорною поверхнею впливають внутрішні дефекти в шині, прояви зовнішніх небезпечних факторів навколишнього середовища та режимів експлуатації шини.

Інженерні методи оцінки надійності та ресурсу шини базуються на напівімпіричних відношеннях та правилах.

Механізм руйнування шини представлено в вигляді накопичення відносних переміщень шарів шини між собою, каркасом та протектором.

В роботі використовувалися наукові методи фізичного й математичного моделювання, теорія планування експерименту, теорія вірогідностей.

Методи дослідження наявності дефекту всередині шини за температурними полями на її зовнішній поверхні з визначенням місць розташування внутрішніх дефектів представляють практичну значимість отриманих результатів.

Експериментальні дослідження проводилися на барабанному стенді для обкатки шин, представленому на рис. 1 та з комплектом вимірювальної, перетворюючої та фіксуєчої апаратури [4].

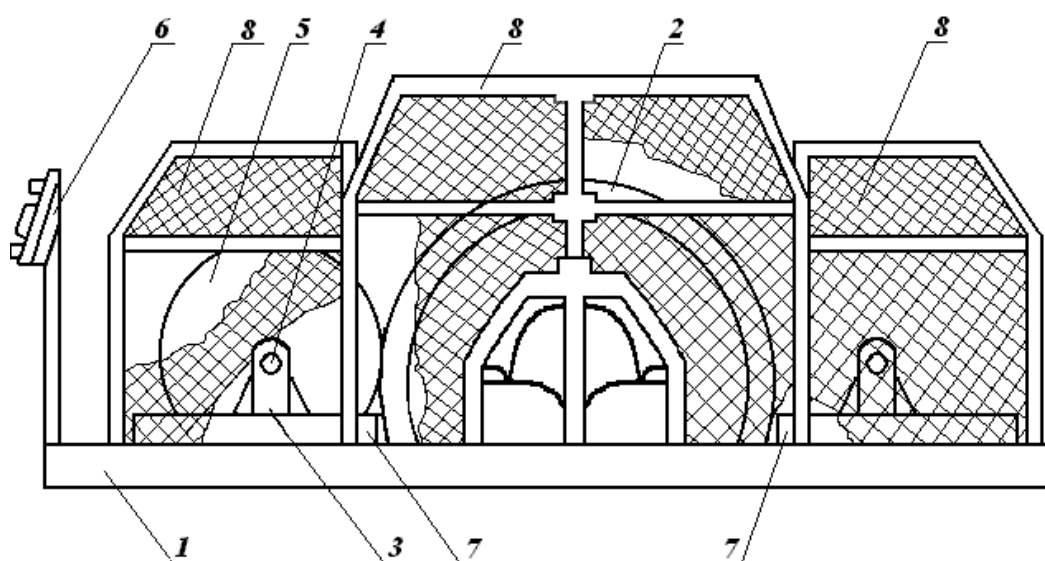


Рис. 1. Барабанний шинообкаточний стенд: 1 – рама стенда; 2 – сталева барабанна зварної конструкції; 3 – кронштейн каретки; 4 – вал каретки; 5 – колесо, що досліджується; 6 – пульт керування стендом; 7 – притискувальні каретки; 8 – захисні сітки

На рамі стенду 1 встановлений сталевий барабан 2 зварної конструкції з клинопасовим приводом від електродвигуна. До поверхні барабана з однією зі сторін притиснуто випробуване колесо 5, встановлене на кронштейнах 3 каретки 7, що дозволяє переміщати колесо в горизонтальному напрямку.

Шина з датчиками деформацій та термопарами закріплюються на валу каретки. Виводи датчиків і термопар за допомогою струмознімального пристрою з'єднуються з вимірювальною та реєструючою апаратурою. Конструкція стенду дозволяє змінювати і реєструвати силу притискання колеса з шиною до барабана. Наявність тиристорного блоку в керуванні електродвигуном стенду дозволяє плавно збільшувати та зменшувати швидкість кочення колеса в межах, що відповідають руху колеса на автомобілі від 0 до 60 м/с. Збиралися шини на заводі виробничого об'єднання «Білоцерковщина». Місця встановлення термопар представлені в [9].

Наведена конструкція стенду дозволяє випробовувати різні моделі та типорозміри шин при заданих режимах навантаження та швидкості.

Враховуючи, що у загонах технічної служби є стенди з біговими барабанами, у роботі пропонується визначати технічний стан шин саме за допомогою подібних стендів.

## **5. Результати аналізу факторів, котрі обмежують пробіг шин пожежних автоцистерн**

В багатьох елементах шини вже на стадії виготовлення виникають внутрішні дефекти, які в процесі експлуатації під дією значних перевантажень поглиблюються і внаслідок цього спричиняють раптове руйнування.

Фактори, що обмежують пробіг шини розглянемо по наступним групам:

- вплив зовнішніх і штучних факторів;
- дія факторів, обумовлених технологічним процесом;
- вади, що їх допускають під час виготовлення шини;
- фактори порушення правил експлуатації.

В роботі розглядається лише вплив на шини зовнішніх і штучних факторів та порушення правил експлуатації, оскільки ці фактори неминучі під час виконання дій за призначенням на пожежних автоцистернах.

Вплив зовнішніх і штучних факторів.

Сліди порізів на протекторі шини. Місцеві порізи можливі при експлуатації на шляхах, покритих гострим щебенем, на будівельних майданчиках та на кам'янистих шляхах.

Протектор може мати ще такі пошкодження як проколи, наскрізні порізи, пошкодження боковин, відшарування протектора, вирив частини протектора, які можливо отримати при наїзді на гострі предмети та на бордюру.

Відшарування шару гуми на боковинах протектора, який потім тріскається і оголює корд. Він виникає через наїзд на гостре або під час руху при зниженому тиску, або через перевантаження.

Пошкодження поверхневого шару боковини шини, яке відбувається на здвоєних колесах, якщо шини в контакт з дорогою деформуються так, що стискаються одна з одною, швидше за все через перевантаження.

Кільцевий поріз боковини шини, по колу шини, якщо шина торкається ресори, рульової тяги.

Пошкодження боковини шини через удари по бордюру.

Мікротріщини на боковинах шини через старіння (тривалий час експлуатації) або під впливом нафтопродуктів, чи від проведення зварювальних робіт, від теплового випромінювання пожежі.

Пошкодження каркасу шини, а саме:

– розрив каркаса (через напруження, котрі перевищили граничні, нитки каркаса рвуться, поряд розташовані нитки теж рвуться від збільшених деформацій і підвищеного навантаження);

– пошкодження шарів каркасу через потрапляння в середину шини вологи, бруду, піску, які пошкоджують та послаблюють каркас, який потім розривається від удару.

Розшарування каркасу проходить від борта до борта, окремі його нитки відокремлюються від всього каркасу. При цьому появляються тріщини, які видні як з внутрішньої сторони, так і з зовнішньої. Поява полостей між шарами каркаса може мати як місцевий характер, так і по всьому колу. Причинами зазвичай є нагрів або перевантаження. Може відбуватися на здвоєних колесах, у яких велика різниця по тиску, або різні статичні радіуси. Пошкодження борта шини під впливом високої температури, отриманої від перегрітої ступиці колеса, під впливом іржі, під впливом пошкодженого борта шини, чи застосування обода невідповідного розміру. Пошкодження борта через закраїну обода під час перевантаження при русі на зниженому тиску.

Невідповідність тиску повітря, котре впливає на зношення та руйнування шин, особливо шин з металокордом в брекері. Навіть мало тривалий рух на спущених металокордних шинах призводить до їх руйнування. Також на руйнування впливає різниця по тиску у здвоєних задніх шин.

Вагове перевантаження шин призводить до збільшення теплоутворення в шині в плечовій зоні і зоні бігової поверхні шини. На каркасі руйнуються бокові стінки шини і з'являються розриви на боковині. Може бути викликано розшарування каркаса, відшарування протектора й боковин. Причиною може бути торкання кузова по поверхні шини. При різкому русенню з місця, під час різкого гальмування, буксування є швидке зношення протектора шини, його нагрів та швидке руйнування. Переїзд через трамвайні колії, залізничні переїзди може викликати розриви бокових стінок каркаса.

Отже, визначено перелік пошкоджень, з якими подальша експлуатація шин не припустима, оскільки можливий раптовий не попереджувальний її вихід з експлуатації, що може призвести до дорожньо-транспортної пригоди.

## **6. Дослідження впливу дефектів в шині на її температурне поле**

Для проведення експериментальних досліджень було підготовлено уніфікований для стендових і натурних випробувань комплект вимірювальної апаратури з використанням датчиків для вимірювання температур [4], розроблені методики проведення експериментальних досліджень серійних і експериментальних шин.

При визначенні впливу внутрішніх дефектів шини на її внутрішній температурний режим у період кочення використовували заздалегідь закладені дефекти розміром 5×5 мм. Ці штучні дефекти були подібністю експлуатаційних дефектів розшарування і призводили до підвищеного нагрівання шини в цій зоні, по відношенню до бездефектних зон [9]. При аналізі визначили, що в момент встановлення тимчасової рівноваги в бездефектних зонах температура в місці дефекту продовжувала збільшуватися. З раніше проведених досліджень, в результаті ви-

мірювання внутрішніх полів температур, встановлено, що через 9 хв. кочення температура у зоні дефекту шини перевищувала температуру інших (бездефектних) зонах на 4–10 °С. При визначенні впливу дефектів шини на поверхневий температурний режим користувалися переносним приладом часткового випромінювання «Пірометром 4П-01 «Смотрич»». Випробуванням підлягали серійні шини 10.00 R20 та 12.00 R20. Було встановлено, що перевищення поверхневої температури в зоні дефекту по відношенню до максимальної температури в подібних бездефектних зонах становило 10...15 °С [10]. Дослідження проводили відповідно правилу № 218-81 (ОСТ 38-04209-87). Випробування за цим правилом проводять згідно табл. 1.

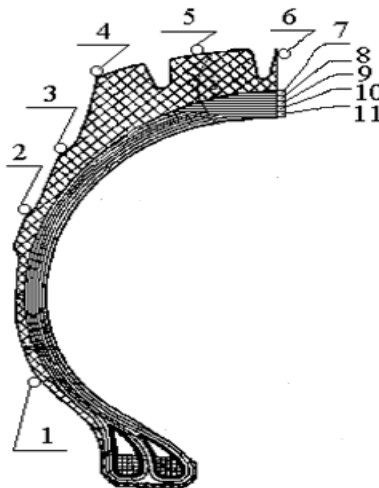
**Табл. 1. Стадії випробування автомобільних шин за правилом № 218-81**

№ з/п	Ступінь випробувань	Швидкість, V, м/с	Навантаження на шину, Q, кН	Час обкатування, хв.
1	Попереднє	0,6 V <sub>max</sub>	0,8 Q <sub>max</sub>	240
2	Перше	0,6 V <sub>max</sub> +10	Q <sub>max</sub>	500
3	Друге	0,6 V <sub>max</sub> +10	M <sub>анх</sub>	500
4	Наступні	0,6 V <sub>max</sub> +10	1,1 Q <sub>max</sub>	500

При визначенні впливу дефектів шини на поверхневий температурний режим користувалися переносним приладом часткового випромінювання «Пірометром 4П-01 «Смотрич»». Навантажувальні параметри в шинах пожежних автоцистерн наведено в табл. 2, а місця вимірювання температури – на рис. 2.

**Табл. 2. Навантажувальні параметри досліджуваних шин**

№ з/п	Марка та модель шини	Внутрішній тиск, МПа	Швидкість кочення по барабану, м/с	Навантаження на шину, кН
1	10.00 R20 И-309	0,8	14	21,6
2	12.00 R20 И-150А	0,85	14	32,5



**Рис. 2. Місця вимірювання температури у шинах пожежних автоцистерн:** 1, 2, 3 – зверху боковини; 4 – зверху по краях протектора; 5 – зверху посередині протектора; 6 – зверху центром протектора; 7 – посередині зверху металокорду; 8 – посередині зверху каркаса; 9 – посередині на 3-му шарі каркаса; 10 – посередині на 2 шарі каркаса; 11 – посередині на 1-му шарі каркаса

Випробуванням підлягала серійна шина 10.00 R20 «1», що встановлюється на АЦ 40(130) 63Б, котра котилася по барабану шинообкатного стенда зі швидкістю 50 км/год, під навантаженням 1500 Н і з внутрішнім тиском 0,5 МПа, у якій є дефекти у зоні розшарування між бреккером і протектором розміром 100×150 мм вздовж

осі симетрії. Під час вимірювання звертали основну увагу на різницю температур дефектної і бездефектної ділянок шини. Загальний нагрів склав 57–58 °С; У зоні дефекту 74 °С, а в навколишньому середовищі 21 °С. Під час вимірювання звертали основну увагу на різницю температур дефектної і бездефектної ділянок шини.

Вимірювання температур шини 12.00 R20, що обкатувалася на стенді з біговим барабаном зі швидкістю 90 км/год, навантаженням 2700 Н, внутрішнім тиском повітря 0,8 МПа, показало наступні результати (рис. 3, рис. 4) та (табл. 3).

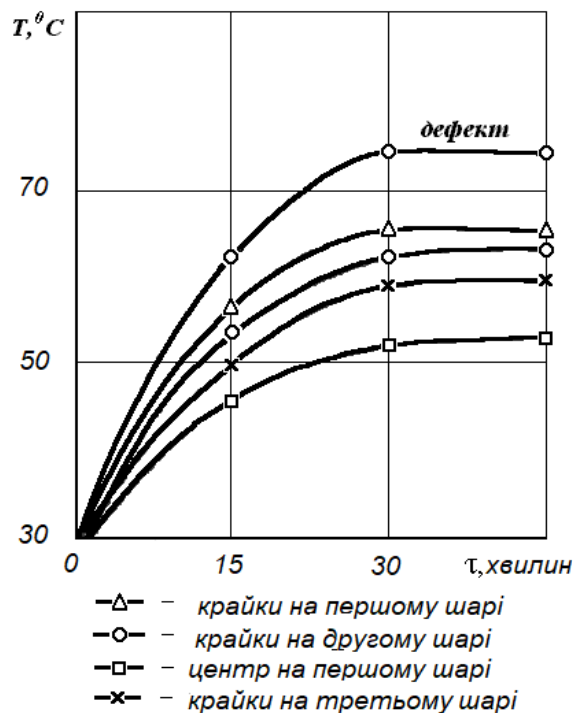


Рис. 3. Розподіл температур по шарам шини 10.00 R20

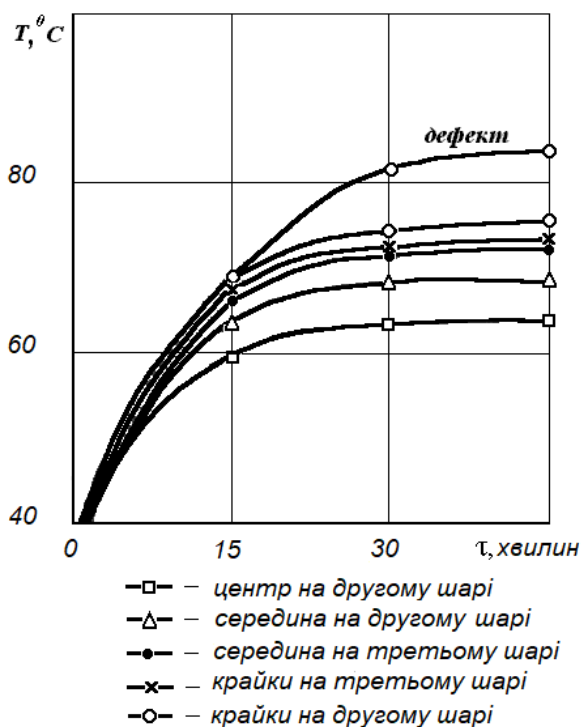


Рис. 4. Розподіл температур по шарам шини 12.00 R20

**Табл. 3. Розподіл температури на поверхні шин**

№ з/п	Марка шини	Час, хв.	Температура на поверхні шини, °С, в місцях виміру					
			Над бортом шини	В центрі боковини	Між боковиною протектора	По крайкам протектора	В середині протектора	В центрі протектора
1	10.00 R20 "1"	60	39	41	53	55	57	60
Температура шини, °С, в зоні дефекту –74								
2	12.00R20 "1"	22	49	50	64	60	66	70
Температура шини, °С, в зоні дефекту –80								

### 7. Розробка методики визначення прихованих дефектів шин пожежних автоцистерн

На безпеку руху пожежних автоцистерн безпосередньо впливають такі регульовані фактори як тривалість експлуатації шин, умови експлуатації шин та відсутність дефектів в них. Для визначення дефектів і технічного стану шини в експлуатації пропонується метод за поверхневими температурними полями, а саме інфрачервоний метод, який заснований на вимірюванні температурного поля поверхні шини.

Тепловий контроль можна здійснювати пасивним і активним методами. Пасивний метод передбачає використання власного випромінювання контрольованого об'єкта. Активний метод ґрунтується на попередньому нагріві і наступному випромінюванні температурного поля поверхні об'єкта. Різниця у температурі окремих зон характеризуватиме умови тепловідведення з них, а отже, наявність дефектів в ній.

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 роликками на складальному барабані каркаса до протектора [11]. Усі зазначені руйнування є внутрішніми дефектами шини, що ускладнює їх діагностику в процесі експлуатації. Наявність таких дефектів у шині під час руху транспортного засобу призводить до раптового, практично миттєвого, її руйнування.

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

Методика визначення прихованих дефектів у шині по поверхневим температурним полям складається з підготовки шин до випробувань, пошуку внутрішнього прихованого дефекту та обробки результатів.

При вимірюванні основних параметрів шин слід користуватися приладами, зазначеними в табл. 4.

Підготовка шин до випробувань:

1. шина повинна бути змонтована на відповідний обід;



2. шина повинна бути чистою від забруднення, сухою та мати температуру навколишнього середовища;
3. шина повинна мати відповідний тиск повітря;
4. шина повинна бути оглянута на предмет її цілостності та наявності включень (каміння, цвяхів, скоб і іншого проникаючого матеріалу). В разі неможливості швидкого вилучення сторонніх предметів, їх необхідно помітити на поверхні шини.

Табл. 4. Прилади і їх допустимі похибки при вимірюванні основних параметрів шин

№ з/п	Вимірювальний параметр	Прилад	Допустима похибка
1	Тиск повітря	Манометр класу точності 1.0	Не більше $\pm 0,01$ МПа
2	Габаритні розміри шини	Металева рулетка	Не більше 1 мм
3	Час кочення шини	Годинник	$\pm 10$ с
4	Геометричні розміри шини	Штангель-циркуль з подовженими губками	$\pm 0,5$ мм
5	Поверхнева температура	Безконтактний прилад (пірометр) з діапазоном 30...100 °С	Не більше 2 %
6	Саморозігрівання шини	Випробувальний стенд з рухомими роликками ( $\varnothing 200$ мм і більше) та з механізмом визначення навантаження на шину	Не більше 2 %
7	Швидкість кочення в діапазоні 30...60 км/год	---/---/---/---/---/---/---/---/---	$\pm 5$ %
8	Нормальне навантаження на шину	---/---/---/---/---/---/---/---/---	$\pm 3$ %

## Пошук внутрішнього прихованого дефекту:

1. Встановити автомобіль для перевірки шин на випробувальний стенд та забезпечити його надійне кріплення.
2. Провести контроль тиску повітря та навантаження на шини, що перевіряються.
3. Відмітити на боковині шини вісім зон вимірювання.
4. Провести вимір температури на поверхні по колу з обох сторін шини.
5. Провести попередню обкатку шини при швидкості руху 5 км/год на протязі 5 хв. та здійснити вимір її температури, а результати виміру занести в протокол.
6. Провести обкатку шини при швидкості руху 30 км/год на протязі 10 хвилин, здійснити вимір її температури, а результати занести в протокол.
7. Провести обкатку шини при швидкості руху 60 км/год на протязі 20 хв та здійснити вимір її температури, а результати виміру занести в протокол.
8. Корегування тиску повітря в шині під час кочення не дозволяється.

## Обробка результатів:

1. При отриманні даних про рівномірний розподіл температур на поверхні шини наводиться висновок, що шина придатна для подальшої експлуатації.
2. При отриманні даних про зони з підвищеною температурою (на 4–10 °С і вище) відносно її загальної температури наводиться висновок, що шина не придатна для подальшої експлуатації з причини наявності прихованого внутрішнього дефекту, на підставі якого шина повинна зніматися з використання.
3. Визначається місце з завищеною температурою на шині та визначається

характер дефекту. У разі прихованого внутрішнього дефекту виконується порівняння його розмірів з розмірами дефекту, який дозволяється з правилами експлуатації шини.

4. Робиться висновок про технічний стан автомобільної шини за результатами її візуального контролю та діагностування.

## **8. Обговорення результатів дослідження впливу дефектів на температурне поле шини**

Отримані результати поверхневих температурних полів пояснюються тим, що внутрішні дефекти в шині випромінюють додаткове тепло, яке генерується розкриттям берегів тріщини (розшарування чи відшарування матеріалів шини). Даний факт фіксується на поверхні шини як зона з підвищеною на 4–10 °С температурою. Це явище чітко виражене під час розігріву шини на барабанному стенді в плинні 30 хв кочення, та залишається і потім, вже після стабілізації температурного поля шини – через 45–60 хв.

В роботі встановлено, що на стан шин пожежних автоцистерн безпосередньо впливають такі регульовані фактори, як саме стан шин (нерівномірна зношеність протектора та його порізи, подряпини боковини, стан бортового кільця), особливі умови експлуатації і наявність дефектів.

Встановлено, що через 45–60 хв кочення по барабанному стенду температура в шинах вантажних автомобілів стабілізувалася по всім вимірюваним зонам, окрім зони з дефектом. В зоні з дефектом температура продовжувала потроху зростати. Температура дефектної зони в шині 10.00 R20 досягла 75 °С, що перевищило температуру по крайках на першому шарі на 10 %, а в шині 12.00 R20 – досягла 85 °С, що перевищило температуру по крайках на другому шарі на 11 %. Характерно, що перевищення температури зовні над дефектною зоною теж було зафіксовано і склало в шині 10.00 R20 – 14 °С, а в шині 12.00 R20 – 10 °С.

Особливості запропонованої методики і отриманих результатів полягають в тому, що оцінка дійсного технічного стану шини може здійснюватись на відстані під час її котіння по біговому барабану, або відразу ж після зупинки автомобіля (після повернення в пожежну частину з навчання чи з пожежі), застосовуючи неруйнівний контроль її досліджуємих елементів. Позитивними добутками роботи є те, що досліджено вплив дефектів шин на їх експлуатаційну надійність. Також досліджена можливість пошуку дефектів в умовах пожежної частини і визначена періодичність проведення технічного обслуговування шин пожежних автоцистерн. Мінусами роботи є те, що експерименти проводилися на шинообкатному стенді з біговими барабанами Білоцерківського шинного заводу, а не в дорожніх умовах. Обмеженнями даної методики є те, що вона дійсна для шин лише вантажних автомобілів. Особливостями запропонованого методу визначення впливу дефектів шини на її стан є те, що за допомогою нескладних переносних вимірювачів температури – термометрів і пірометрів можливо визначати дійсний стан шини в умовах пожежної частини. Недоліком досліджень є те, що для детального діагностування шин необхідно застосовувати стенди з біговими барабанами, які є лише на базах аварійно-рятувальних загонів.

Для шин пожежних автоцистерн визначено необхідність проведення пошуку зовнішніх дефектів під час щоденного технічного обслуговування і пошуку внутрішніх дефектів під час технічного обслуговування № 1.

Подальший розвиток досліджень, із застосуванням критерію розвитку дефек-

ту до критичного розміру, дозволить визначати термін експлуатації дефектної шини до її руйнування на підставі вимірювань зовнішніх температурних полів.

Отримані дані дозволять своєчасно вилучити з експлуатації шини з критичними дефектами та збільшать надійність та безпеку руху пожежних автоцистерн під час слідування на виклик і виконання дій за призначенням.

## 9. Висновки

1. В роботі проаналізовано фактори, котрі значно обмежують пробіг шин пожежних автоцистерн. Вимірювання температури як на поверхні, так і всередині шини після обкатування шини на стенді з біговими барабанами показало, що найвища температура знаходиться на кромках брекера (в районі плечового пояса), поступово зменшуючись до середини протектора. Навантаження (в експерименті це сила притискання шини до бігового барабана), швидкість кочення шини по барабану та її внутрішній тиск – є основним фактором, що впливає на нагрівання шини. Визначено, що стабілізація температури в шинах пожежних автоцистерн встановлюється через 50–60 хв їх кочення по барабану стенда.

2. В роботі досліджено вплив дефектів в шині на її температурне поле. Експериментальними дослідженнями з визначення впливу внутрішніх дефектів, що утворюються в результаті злиття мікротріщин, поганої адгезії гуми з кордом, або через виробничий дефект на температурні поля шини встановлено, що у місцях передбачуваного дефекту було зафіксовано перевищення стосовно загального температурного стану шини і становило: через 80 хв кочення – 9 %; через 140 хв кочення 16 %, чим підвищує їх термонапружений стан. Ці дослідження дозволяють приймати рішення по контролю за температурним станом шини. Експериментальними дослідженнями з визначення впливу зовнішніх дефектів, котрі утворюються через порушення правил експлуатації шин, встановлено, що у інтервалі часу 15...50 хв з початку кочення шини зі швидкістю руху понад 30 м/с за її поверхневими температурними полями можна судити про наявність та величину дефектів. Перевищення температури у зоні дефекту, щодо інших зон, становило більше 5 %. Температурна стабілізація в шинах 10.00 R20 та 12.00R20 настає через 50–60 хв їх кочення по біговому барабану за швидкості 50 км/год. При проведенні дослідження за допомогою нескладних приладів (інфрачервоний пірометр, контактний термометр) з неруйнівного теплового контролю технічного стану шин пожежних автоцистерн, а саме виявлення внутрішніх розшарувань, пустот у товщі шини, дефектів виробництва дали підставу для наступних стверджень. Лише за допомогою теплового методу можливо ефективно та якісно визначити температурний стан шини, її цілісність.

3. Розроблено методику визначення прихованих дефектів шин пожежних автоцистерн. Запропонована методика визначення прихованих дефектів у шині по поверхневих температурних полях в умовах роботи державних пожежно-рятувальних частин не допустить експлуатації дефектної шини, чим саме підвищить безпеку руху пожежних автоцистерн. Перевірку шин слід проводити по поверненню з виїзду на пожежу або навчання, оскільки перед виїздом це неможливо. Експериментальними дослідженнями з визначення впливу дефектів шини на її термонапружений стан підтверджено перевищення температурного стану шини в зоні дефекту (як зовнішнього, так і внутрішнього) по відношенню до бездефектних зон в межах 4–10 °С, що дає можливість здійснювати контроль за шинами в умовах Державних пожежно-рятувальних частин за допомогою «Піромет-

рів». Визначено, що над дефектною ділянкою шини завжди спостерігається підвищення температури, величина якого залежить від навантаження, характеру, розміру і глибини залягання дефекту.

### Література

1. Behnke R., Kaliske M., Thermo-mechanically coupled investigation of steady state rolling tires by numerical simulation and experiment. *International journal of non-linear mechanics*. 2015. Vol. 68. P. 101–131. doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2014.06.014
2. Integrated dynamics and efficiency optimization for EVs *Vehicle dynamics international*. 2019. P. 38–39. doi: 10.1002/asjc.1686
3. Pozhydayew S. Utochnennya ponyattya momentu syly u mekhanitsi [Clarification of the concept of force moment in mechanics] *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*. I. 2018 P. 21–25. doi: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.21
5. Larin O., Vinogradov S., Kokhanenko V. Pat. 82321 Ukraine, IPC (2013.01) B60C 23/00. Adjustment for temperature adjustment in pneumatic tires / applicant and patent holder of the National University of Civil Society of Ukraine. № u201302439, application № 02/26/2013; publ. 07.25.2013, Bul. № 14.
6. 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
7. 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
8. Cho J., Yoon Y. Large deformation analysis of anisotropic 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
9. Larin O. Probabilistic of fatigue damage accumulation in rubberlike materials. *Strength of Materials*. 2010. Vol. 47. 6. P. 849–858. doi: 10.1007/s11223-015-9722-3
10. Коханенко В. Б., Коломієць В. С. Вплив конструкції та стану шини на безпеку руху пожежних автоцистерн. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2023. Вип. 37. С. 238–249. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-17

*V. Kohanenko, PhD, Associate Professor, Lecturer of the Department  
B. Kryvoshei, PhD, Associate Professor, Lecturer of the Department  
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

### ANALYSIS OF CHARACTERISTIC DEFECTS OF FIRE TANKER TIRES AND METHODS OF THEIR DETERMINATION

In this article, the characteristic defects of tires that arise due to the specific modes of operation of emergency and rescue vehicles and fire trucks are defined, and a methodology for their determination in the conditions of the State fire and rescue units is developed. Today, the condition of tires is determined in research laboratories and with the help of special equipment. Tires operated by units of the State Fire and Rescue Service are not monitored. It has been established that most fire truck tires are in service longer than specified by the manufacturer, because they still have an unworn tread. Therefore, the internal condition of such tires is unreliable, with existing defects, with fatigue of the rubber material of the tire, which cannot be detected without special equipment. Circumstances related to the conduct of military operations lead to the movement of fire tankers on a damaged (as a result of enemy shelling) road surface, at increased speed and with weight overloads, which affects the temperature of tires. High temperature accelerates the growth of defects to critical dimensions and leads to the destruction of tires. Therefore, it is not enough to monitor their external condition, as tires accumulate internal tiring de-

struction and manufacturing defects. As a result of the conducted research, it was established that the thermal radiation of the tire indicates the presence of internal destruction, which means that it makes it possible to determine its integrity. The paper solves the scientific and practical task of creating a methodology for determining hidden defects in a tire. The developed method of identifying hidden defects in the tires of fire trucks will allow determining their operational suitability. The research results obtained by me will increase the safety of following fire tankers to the place of call and during the performance of actions as assigned. These data are very important, as they reduce the probability of an unexpected sudden exit of fire truck tires from operation.

**Keywords:** fire truck, radial tire, thermal radiation, defects, reliability, stratification, safety

## References

1. Behnke, R., Kaliske, M. (2015). Thermo-mechanically coupled investigation of steady state rolling tires by numerical simulation and experiment. *International journal of non-linear mechanics*, 68, 101–131. doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2014.06.014
2. Integrated dynamics and efficiency optimization for EVs Vehicle dynamics international. (2019), 38–39. doi: 10.1002/asjc.1686
3. Pozhydayew, S. (2018). Utochnennya ponyattya momentu syly u mekhanitsi [Clarification of the concept of force moment in mechanics] *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*. I., 21–25. doi: 10.30977/AT.2219-8342.2019.44.0.21
5. Larin, O., Vinogradov, S., Kokhanenko, V. Pat. 82321 Ukraine, IPC (2013.01) B60C 23/00. Adjustment for temperature adjustment in pneumatic tires / applicant and patent holder of the National University of Civil Society of Ukraine. – № u201302439, application № 02/26/2013; publ. 07.25.2013, Bul. № 14.
6. 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
7. 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
8. 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
9. Larin, O. (2015). Probabilistic of fatigue damage accumulation in rubberlike materials. *Strength of Materials*, 47, 6, 849–858. doi: 10.1007/s11223-015-9722-3
10. Kokhanenko, V. B., Kolomiets, V. S. (2023). The influence of the design and condition of the tire on the safety of the movement of fire tankers. *Problems of emergency situations*, Kharkiv. NUTSZU, 37, 238–249. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-17

Надійшла до редколегії: 05.03.2024

Прийнята до друку: 16.04.2024