

- metallic inclusions in steel]. Dnepropetrovsk, Art-Press Publ., 2005. 160 p. (Rus.)
18. Yasiukov V.V., Lysenko T.V., Parkhomenko E.A. Gazy i nemetallicheskie vklucheniia v stalnykh otlivkakh [Gases and non-metallic inclusions in steel castings]. *Metall i lite Ukrainy – Metal and casting of Ukraine*, 2017, vol. 11-12 (294-295), pp. 19-22. (Rus.)
19. Vynohrad M.Y., Hromova H.P. *Vkliucheniiia v legirovannykh staliakh i splavakh* [Inclusions in alloy steels and alloys]. Moscow, Metallurgiiia Publ., 1971. 216 p. (Rus.)

Рецензент: О.А. Мітяєв
д-р техн. наук, проф., НУ «Запорізька політехніка»

Стаття надійшла 29.03.2021

УДК 669.017.07

doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240568

© Гаврилова В.Г.*

МАТЕРІАЛОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗАГАЛЬНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Виконано оглядовий аналіз методів матеріалознавчої експертизи як найважливішої частини загальної інженерно-технологічної експертизи транспортних засобів. Узагальнені та сформульовані завдання в ході проведення експертних заходів, питання, які вирішує експерт з метою виявлення дефектів матеріалів та встановлення причин їх утворення. Показано доцільність проведення спеціальних досліджень та роль фрактографії у цьому процесі. Систематизовані та класифіковані види дефектів деталей автомобілів, внаслідок яких виникає руйнування. Охарактеризовані умови проведення експертних випробувань залежно від конкретних ситуацій. Результати роботи рекомендується застосовувати для розробки навчального курсу «Експертиза матеріалів», а також при викладанні курсів «Матеріали для застосування на транспорті» та «Механічні властивості матеріалів».

Ключові слова: матеріалознавча експертиза, автоекспертиза, аварійний стан, руйнування, навантаження, дефекти деталей, методи випробування матеріалів, експертна оцінка, фрактографія.

V.G. Gavrylova. Material science expertise as an element of the overall assessment of the condition of vehicles. *A review analysis of the methods of material science expertise, as the most significant part of the general engineering and technological expertise of vehicles, has been carried out. The areas of application of the results of materials science expertise are given. In the course of expert events the tasks and the questions issues that the expert solves with the help of organoleptic, diagnostic methods, special equipment for detecting defects in materials and establishing the causes of their formation, has been generalized and formulated. The expediency of special research and the role of fractography in this process are shown. The types of destructive and non-destructive control used in the examination are listed. A mandatory research plan is presented, including an assessment of the general condition of the research object, analysis of the apparent condition of destroyed parts, flaw detection, metallographic analysis, mechanical analysis, analysis of working conditions of parts, as well as generalization and analysis of research results and development of recommendations for preventing the causes of breakdowns and emergencies. The types of defects in car parts, caused the destruction, are systematized and classified: defects in material, defects in thermal and galvanic treatments, defects in mechanical processing and assembly. The conditions for conducting expert*

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, gavrilova_v_g@mail.ua

tests, depending on specific situations, are characterized. The results of the work are recommended to be used for the development of the training course «Materials expertise», as well as for teaching the courses «Materials for use in transport» and «Mechanical properties of materials».

Keywords: *materials science and automotive expertise, emergency condition, destruction, loads, defects of parts, materials testing methods, expert assessment, fractography.*

Постановка проблеми. Оскільки в науково-технічній літературі приділено недостатньо уваги оцінці ролі матеріалознавчої експертизи у загальному процесі проведення автоекспертизи, є необхідність поширення відомостей про основні заходи та методи експертних матеріалознавчих досліджень для встановлення причин аварій, ухвалення відповідальних технічних рішень, вирішення спірних питань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обсяг проведених експертиз транспортних засобів постійно зростає і в даний час ця послуга користується великим попитом. З автомобілями відбувається величезна кількість дій, вони потрапляють в аварії, ламаються, їх неякісно ремонтують, вони купуються і продаються, списуються і т. д. [1-3]. Технічна експертиза транспортних засобів проводиться з метою встановлення несправностей, дефектів і недоліків в вузлах, механізмах і агрегатах автомобіля (кузов, двигун, ходова частина, підвіска, електрообладнання, система протидії угону сигналізації й інш.), виявлення причин їх виникнення, встановлення причинно-наслідкового зв'язку між технічним станом автомобіля і аварією (ДТП) [4].

Руйнування деталей і частин транспортних засобів можуть бути не тільки наслідком аварії, але може відбуватися під дією різних навантажень, що у багатьох випадках супроводжуються корозійною і температурною дією, призводить до виходу з ладу відповідальних вузлів або навіть усієї конструкції або механізму в цілому. Тому останніми роками приділяється багато уваги роботам, в результаті яких проводиться вивчення процесу деформації і руйнування, залежно від механічних, фізичних і фізико-хімічних чинників. Проте, незважаючи на численні цінні результати цих робіт, причини руйнування і виходу з ладу механізмів, виготовлених з різних матеріалів, у багатьох випадках ще далеко не з'ясовані [5].

Невід'ємною та найбільш актуальною частиною автоекспертизи є проведення саме матеріалознавчої експертизи, яка дозволяє встановити причину руйнування деталей або частин транспортних засобів, зробити висновки про якість їх виготовлення або дати рекомендації щодо усунення проблем, які призвели до різних аварійних ситуацій [6-7].

В роботі [8] не досить конкретно обговорюються питання, пов'язані з вивченням процесів руйнування деталей транспортних засобів як наслідок аварійних ситуацій. Основний акцент зроблено на характеристику зламів зруйнованих деталей, але не систематизовані методи матеріалознавчої експертизи, які застосовуються у вказаних ситуаціях. У роботах [5, 9] визначені наслідки руйнування деталей при конкретних аварійних ситуаціях, коротко описуються основні принципи встановлення причин руйнування деталей, однак чітко не сформульовані питання, на які повинен дати відповідь експерт-матеріалознавець в процесі розв'язання складних завдань під час загальної оцінки стану транспортних засобів.

В науковій періодичній літературі достатньо повно описані методи автотехнічної експертизи [6-8, 10], проте недостатньо матеріалу, пов'язаного саме з експертизою матеріалів, не класифіковані й не систематизовані дефекти, внаслідок яких виникає руйнування деталей, не повністю приводяться основні методи, які використовуються під час проведення цього виду експертизи, не показана її роль у загальній інженерно-технологічній експертизі транспортних засобів.

Мета статті. Систематизувати та узагальнити завдання щодо експертів, основні методи експертизи матеріалів, виявити основні проблеми під час її проведення, показати роль матеріалознавчої експертизи у загальному процесі автоекспертизи, коли знань осіб, відповідальних за ухвалення рішень у сфері транспортного машинобудування, судочинства, освіти, буває недостатньо.

Виклад основного матеріалу. Автотехнічна експертиза являє собою один з видів інженерно-технологічної експертизи, основним завданням якої є визначення наявності несправностей в певному транспортному засобі або відсутність таких.

Результати такої експертизи використовуються в судах, органах дізнання і прокуратурі, а також запитуються фізичними і юридичними особами. Це комплекс заходів, які проводить експерт або фахівець з метою виявлення дефектів (недоліків), встановлює причини їх утворення і пропонує способи їх усунення. Експертний висновок, як правило, містить докладний опис діагностичних заходів і висновки фахівця відповідно до позначених переліком питань.

В ході проведення експертних заходів необхідно вирішити такі завдання:

- встановити технічний стан автотранспорту, окремих його систем і комплектуючих;
- з'ясувати причину появи поломки і можливість більш раннього її виявлення;
- встановити технічні можливості попередження аварії при певному технічному стані автотранспорту та його комплектуючих;
- встановити обставини, що стосуються технічного стану автотранспорту та можуть стати причиною ДТП.

Для отримання максимально точних результатів експерти вдаються до комплексного вивчення об'єктів, застосовуючи:

- органолептичний спосіб – візуальне дослідження автотранспорту, його систем і комплектуючих;
- діагностичні методи – проводиться як загальна діагностика, так і поелементна;
- спеціалізоване обладнання – прилади тестування та випробування різних систем;
- діагностичну апаратуру.

Значна частина в загальній оцінці технічного стану автомобілів належить матеріалознавчій експертизі, яка вважається найбільш складною в технічному виконанні, вимагає спеціального обладнання, а також високого рівня кваліфікації експерта, який має надати відповіді на наступні основні питання:

- Чи є на автотранспорті дефекти механізмів та деталей: двигуна, трансмісії, підвіски та інших комплектуючих?
- Що стало причиною виникнення виявлених дефектів?
- Чи можна було експлуатувати транспортний засіб з виявленим дефектом?
- Чи могло використання низькоякісного палива або неякісно виконання ремонтних робіт призвести до появи виявленої несправності?
- Чи є виявлений дефект заводським дефектом або виник в результаті експлуатаційного зносу деталей?
- Чи є ознаки неналежної експлуатації автомобіля, наприклад, сліди механічного впливу й інш.?
- Чи можна було виявити несправність до початку експлуатації транспортного засобу?
- Чи є ймовірність повторної появи поломки після ремонту через особливості конструкції або недоробки агрегату автомобіля?
- Чи могла виявлена несправність стати причиною аварії?

Для відповідей на зазначені питання експерту, в першу чергу, необхідно виконати ряд досліджень з метою виявлення дефектів деталей, до яких відносяться: металургійні, конструктивні, виробничі (технологічні) дефекти, механічні пошкодження поверхні і порушення режиму експлуатації, та встановлення причин їх утворення.

Це можуть бути:

- а) неправильна конструкція, наприклад, невірний крок різьби або занадто малий перетин, недостатній зазор;
- б) пошкодження при виготовленні, а саме: закати, волосовини, зварні тріщини;
- в) активне шкідливе середовище, наприклад, корозійна атмосфера;
- г) неправильний монтаж, наприклад, слабе кріплення;
- д) робота під навантаженням, що перевищує допустиму міцність деталі;
- е) ударні нештатні навантаження одноразового характеру й ін.

Всі вказані причини руйнування деталей автомобілей є наслідком їх дефектності. Основні дефекти, пов'язані з матеріалами, які застосовуються у процесі виготовлення деталей, можна узагальнити за даними [3-5] схемою (рис. 1).

За місцем розташування всі дефекти поділяють на зовнішні і внутрішні. Зовнішні, що утворилися в результаті деформації, поломки, зміни геометричної форми і розмірів, легко виявляють візуально або в результаті нескладних вимірів. Внутрішні дефекти, такі як втомні тріщи-

ни, тріщини термічної втоми й інш., виявляють різними методами макроаналізу деталей та фрактографією, в процесі яких виконується комплекс робіт, який полягає у виявленні та характеристиці дефектів, що мають місце в деталях.



Рис. 1 – Характерні дефекти деталей автомобілей

Узагальнення фактичного матеріалу по аналізу руйнувань деталей машин показує, що виробничо-технологічні причини поломок наступні:

- дефекти матеріалу;
- дефекти термічної і гальванічної обробок;
- дефекти механічної обробки;
- дефекти зборки.

При проведенні матеріалознавчої (металознавчої) експертизи транспортних засобів використовуються методи, які можна поділити на дві групи:

1. Методи руйнівного контролю – макро- і мікроскопічний аналіз за допомогою оптичних систем (визначення структурних параметрів матеріалу і визначення фазового складу):

- визначення хімічного складу матеріалу;
- растрова електронна мікроскопія (фрактографія);
- електронна мікроскопія;
- а) макрокопічний метод – спектральні способи і способи аналітичної хімії;
- б) мікроскопічні методи:
 - рентгеноспектральний мікроаналіз;
 - мас-спектроскопія і Оже-спектроскопія;
 - іонна і автоіонна мікроскопія.
- в) окремі механічні випробування.

2. Методи неруйнівного контролю (ультразвуковий дефектоскопічний аналіз, рентгеноструктурний, деякі способи спектрального аналізу) [5].

Перед початком проведення експертизи для встановлення причин поломок деталей обов'язково складається план дослідження, який містить п'ять основних пунктів:

- 1) оцінка загального стану об'єкта дослідження;
- 2) аналіз зовнішнього стану зруйнованих, пошкоджених або зв'язаних з ними деталей;
- 3) оцінка якості виготовлення і матеріалу деталі шляхом огляду, дефектоскопування, металографічних, механічних й інших досліджень;
- 4) аналіз умов роботи шляхом оцінки зовнішнього стану деталей, спостереження за роботою конструкції, машини або механізму до її поломки, натурних, стендових, експлуатацій-

них і спеціальних випробувань, розрахунків на міцність, експериментальних методів оцінки напруг і т. д.;

5) узагальнення і аналіз результатів досліджень і розробка рекомендацій по попередженню причин, що викликають поломки та аварійні ситуації [4].

Велику роль перед встановленням причин виникнення аварійного стану деталей має аналіз умов їх роботи, який обов'язково проводиться у всіх аварійних випадках і який включає оцінку конструктивних, виробничо-технологічних і експлуатаційних чинників.

Наприклад, поломки деталей внаслідок недостатньої міцності характеризуються, як правило, малим терміном служби. Іноді недостатня міцність може проявлятися тільки після тривалої роботи, коли збільшується діюча напруга або погіршуються механічні властивості матеріалу внаслідок зносу або при роботі деталі в умовах підвищених або низьких температур, й інших випадках. Внаслідок неправильного підбору матеріалу пар, що труться, дотичні поверхні деталей можуть зношуватися, піддаватися корозії тертя. У цьому випадку неправильне призначення проміжків призводить до того, що деталі зачіпають одна за одну або перевантажуються.

При оцінці якості виготовлення і матеріалу деталі виконують:

- 1) вимір деталей з метою встановлення їх відповідності вимогам технічних умов;
- 2) оцінку якості обробки поверхні;
- 3) дослідження методами дефектоскопії для виявлення тріщин і металургійних дефектів;
- 4) перевірку якості матеріалу для встановлення відповідності його механічних властивостей вимогам, що пред'являються.

Дефектоскопування пошкоджених деталей дозволяє оглядати їх візуально, а також за допомогою лупи або бінокулярного мікроскопа. Дослідження якості матеріалу включає стандартні механічні випробування, металографічний і хімічний аналізи, а також різні технологічні й інші проби матеріалу. Аналіз зовнішнього стану зруйнованих або пошкоджених деталей необхідно розпочинати з виявлення частини механізму, що зруйнувалася першою. Після цього встановлюється послідовність руйнування усіх деталей і виявлення місць концентраторів напруги і зародження зламів. Велике значення має розрахунок діючих навантажень, ступеня перевантаження при повторних вантаженнях і виявлення відхилень від норми в роботі деталі, що зруйнувалася. Отже, дослідження зламів є одним з найважливіших методів при виявленні причин руйнування деталей.

Причинами руйнування деталей в процесі експлуатації може бути утворення тріщин в металевих деталях через прикладені навантаження, вищі за допустимі. При цьому злам деталі може мати крихкий характер або в'язкий. Це залежить від структури і властивостей металу.

Наприклад, при термообробці деталей можуть утворюватися тріщини і мікротріщини через нерівномірний нагрів деталей, особливо тих, що мають складну форму, де є різкі переходи від масивних частин до частин малого перетину. Тріщини можуть утворюватися на самому початку при нагріві деталі або у кінці термообробки при прискореному охолодженні [7].

Найбільш ефективним методом матеріалознавчої експертизи є фрактографія (прикладі наведені на рис. 2), що виконується за допомогою растрового електронного мікроскопу [5, 7].

Параметри експлуатаційних руйнувань, які можуть бути виявлені фрактографічно:

- дослідження форми і поверхні деталі;
- визначення первинного місця руйнування і траєкторії поширення тріщини;
- розташування зони зародження, росту тріщини та долома;
- визначення характеру навантаження: динамічний, статичний або циклічний;
- дослідження виду зламу деталі, характер руйнування: втомне, статичне або динамічне; співвідношення частки в'язкого, крихкого руйнування в зламі або змішаного;
- наявність розшарування, неприпустимих включень та інших ознак дефектів матеріалу, описаних в атласах фрактограм.

Взагалі, фрактографічний метод дозволяє кваліфікувати механізм руйнування та встановити його причину.

В проведенні експертизи слід відмітити окрему роль методів контролю зварних з'єднань, до яких також відносяться механічні випробування, металографічні, хімічні та фізичні методи дослідження, рентгенівські, магнітні методи, а також індукційний метод та ультразвукова дефектоскопія.

На підставі висновків за результатами дослідження і висновків про причину виходу дета-

лей з ладу розробляються рекомендації по попередженню подібних поломок надалі. Остаточний висновок про причини руйнування, у більшості випадків, може бути зроблений тільки після узагальнення усіх результатів дослідження. Розробка заходів з попередження аналогічних проблем є завершальним етапом матеріалознавчої експертизи.

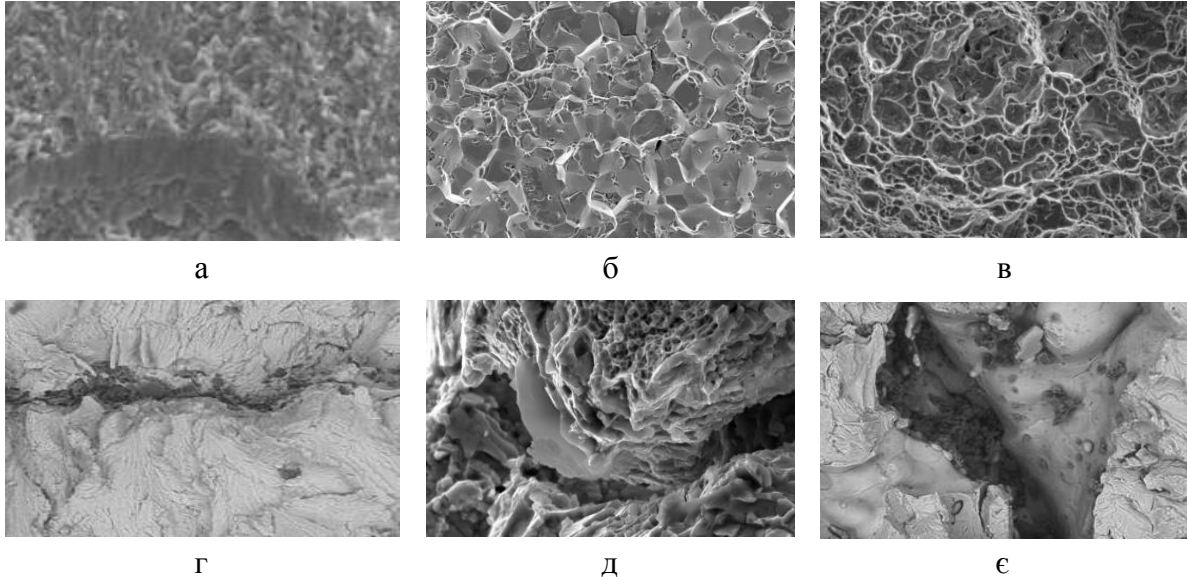


Рис. 2 – Мікрофрактограми деяких процесів руйнування, $\times 2250$ [5, 7]: а – втомне руйнування; б – міжзеренне руйнування; в – внутрішньозеренне руйнування; г – зона квазікрихкого руйнування; д – розвиток тріщини квазісколу; е – зона поширення тріщини

Для висококваліфікованого проведення матеріалознавчої експертизи необхідна якісна підготовка студентів, які навчаються за спеціальністю 132 «Матеріалознавство». Для цього вони повинні набути необхідні знання шляхом вивчення спеціальних курсів, що дозволить їм набути достатній досвід експертної праці, а також стати затребуваними та конкурентноздатними на ринку праці.

Висновки

1. В роботі показана роль матеріалознавчої експертизи, яка є невід'ємною та найбільш актуальною частиною технічної автоекспертизи, обов'язковою при вирішенні спірних питань, пов'язаних з руйнуванням механізмів і виникненням аварійних ситуацій.
2. Узагальнені та класифіковані завдання в ході проведення експертних заходів, питання, які вирішує експерт-матеріалознавець.
3. Виконано оглядовий аналіз методів матеріалознавчої експертизи, умови її проведення та роль фрактографії у цьому процесі.
4. Систематизовані та узагальнені види дефектів деталей автомобілів, які можуть стати причиною аварійних ситуацій;
5. Результати роботи рекомендується застосовувати для розробки навчального курсу «Експертиза матеріалів» та при викладанні курсів «Матеріали для застосування на транспорті» і «Механічні властивості матеріалів».

Перелік використаних джерел:

1. Экспертиза металлов и сплавов: особенности, описание и требования [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.alfa-industry.ru/news/115/96188/>. – Название с экрана.
2. Сквирский В.Я. Экспертиза: теория, технология, практика / В.Я. Сквирский. – М. : Прогресс, 1994. – 284 с.

3. Материаловедение на автомобильном транспорте : учебник для студ. ВУЗов / П.А. Колесник, В.С. Кланица. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 320 с.
4. Гарькина И.А. Этапы проведения технической экспертизы / И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Научное обозрение. Технические науки. – 2017. – № 1. – С. 59-64.
5. Куцова В.З. Экспертиза матеріалів та металів : навчальний посібник / В.З. Куцова, Н.М. Федоркова. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. – 51 с.
6. Струве Н.Э. Методика выбора конструкционных материалов для типовых деталей автомобилей : учебное пособие / Н.Э. Струве. – М.: МАДИ, 1989. – 88 с.
7. Шестопалова Л.П. Методы исследования материалов и деталей машин при проведении автотехнической экспертизы : учебное пособие / Л.П. Шестопалова, Т.Е. Лихачева. – М. : МАДИ, 2017. – 180 с.
8. Павлов А.Н. Методы обработки экспериментальной информации : учебное пособие / А.Н. Павлов, В.В. Соколов. – СПб. : ГУАП, 2005. – 42 с.
9. Davies G. Materials for Automobile Bodies / G. Davies. – Oxford : Linacre House, Jordan Hill, 2003. – 368 p. – Mode of access : <http://en.bookfi.net/book/1358476>.
10. Исследование недостатков легковых автомобилей отечественных моделей, находящихся в эксплуатации : методическое руководство для экспертов и судей. – М. : СУДЭКС, 2006. – 41 с.

References:

1. *Ekspertiza metallov i splavov: osobennosti, opisanie i trebovaniia* [Expertise of metals and alloys: features, description and requirements] Available at: www.monateka.com/article/294283 (accessed 28 April 2019).
2. Skvirsky V.Ya. *Expertise, teoriya, tehnologiya, praktika* [The expertise: theory, technology, practice]. Moscow, Progress Publ., 1994. 284 p. (Rus.)
3. Kolesnik P.A., Klanitsa V.S. *Materialovedenie na avtomobil'nom transporte : uchebnik dlia stud. vyssh. ucheb. zavedenii* [Materials science in road transport: a textbook for students of higher study institutions]. Moscow, Academy Publ., 2007. 320 p. (Rus.)
4. Garkina I.A., Garkin I.N. *Etapy provedeniia tekhnicheskoi ekspertizy* [Stages of technical expertise]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki – Scientific Review. Technical sciences*, 2017, no. 1, pp. 59-64. (Rus.)
5. Kutsova V.Z., Fedorkova N.M. *Ekspertiza materialiv ta metaliv: navch. posibnik* [Expertise of materials and metals: tutorial]. Dnipropetrovsk, NMetAU Publ., 2015. 52 p. (Ukr.)
6. Struve N.E. *Metodica vybora konstrukcionnyh materialov dlya tipovyh detaley avtomobiley: ucheb. posobie* [Methodology for the selection of structural materials for typical car parts: tutorial]. Moscow, MADI Publ., 1989. 88 p. (Rus.)
7. Shestopalova L.P., Likhacheva T.E. *Metody issledovaniya materialov i detaley mashin pri provedenii avtotekhnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie* [Methods for the study of materials and machine parts when carrying out an auto-technical expertise: tutorial]. Moscow, MADI Publ., 2017. 180 p. (Rus.)
8. Pavlov A.N., Sokolov V.V. *Metody obrabotki eksperimentalnyh dannyh* [Methods of experimental information processing: tutorial]. – St. Petersburg, GUAP Publ., 2005. 42 p. (Rus.)
9. Davies G. *Materials for Automobile Bodies*. Oxford, Linacre House, Jordan Hill Publ., 2003. 368 p. Available at: <https://www.twirpx.com/file/1491843/> (accessed 15 January 2021).
10. *Issledovaniye nedostatkov legkovykh avtomobiley otechestvennykh modeley, nahodyashihsy v ekspluatatsii: metodicheskoe rukovodstvo dlia ekspertov i sudei* [Investigation of the shortcomings of passenger cars of domestic models in service: Methodological guide for experts and judges]. Moscow, SUDEX Publ., 2006. 41 p. (Rus.)

Рецензент: В.Г. Єфременко
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 14.04.2021