

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>

УДК 614.846.63:681.586.7

## НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ПОЖАРНОЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Бирюк В.А., Пасовец В.Н., Журов М.М.

*Цель.* Обоснование применения современных методов оценки и контроля состояния пожарной аварийно-спасательной техники с целью обеспечения ее безотказной эксплуатации.

*Методы.* Неразрушающий контроль, компьютерное моделирование, тензометрия.

*Результаты.* Выполнен обзор существующих методов оценки и контроля технического состояния агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники. Представлены отдельные результаты их применения. Дана оценка возможности применения методов неразрушающего контроля.

*Область применения исследований.* Пожарная аварийно-спасательная техника, сварные соединения технических объектов.

*Ключевые слова:* пожарный автомобиль, автоцистерна, деформации, механические напряжения, датчик, методы неразрушающего контроля, сварное соединение.

(Поступила в редакцию 2 июня 2020 г.)

### Введение

Проведение аварийно-спасательных работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера требует применения современной пожарной аварийно-спасательной техники. Поэтому проведение своевременной диагностики и реализация мероприятий по ее обновлению и модернизации – одна из приоритетных задач Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Наиболее универсальным и распространенным видом среди основных пожарных автомобилей является пожарная автоцистерна. При ее производстве формируется большое количество сварных соединений, качество выполнения которых во многом определяет боевую готовность. Производственный контроль выпускаемой продукции в виде пожарных автоцистерн включает проверку водопенных коммуникаций и цистерны на герметичность, при этом в основном используется только один метод – течеискание<sup>1</sup>. Необходимо отметить, что цистерны изготавливаются из нержавеющей стали 12Х17 (AISI 430 2В), а процесс ее сварки имеет ряд технологических особенностей, обусловленных наличием в стали 17 % хрома, пониженной теплопроводностью и высоким коэффициентом термического расширения.

Воздействие циклических динамических нагрузок при эксплуатации, возникновение коррозии внутренних стенок цистерн в условиях повышенной влажности, несвоевременный и недостаточный контроль при эксплуатации и обслуживании ведут к преждевременному выходу из строя пожарных автоцистерн [1; 2]. Устранение возникающих неисправностей ведет к простоям техники и снижению боеспособности подразделения, в некоторых случаях – в течение продолжительного периода.

Анализ статистических данных показывает, что только в Минске состоит на вооружении более 20 % пожарных автоцистерн со сроком эксплуатации старше 10 лет, что превышает нормативные значения срока службы пожарного автомобиля в Республике Беларусь. В связи с этим существует высокая вероятность выхода из строя деталей, узлов и агрегатов как шасси автомобиля, так и пожарной надстройки, сопровождающегося последующим выводом автомобиля из боевого дежурства и его постановкой на ремонт. Поэтому применение

<sup>1</sup> Автомобили пожарные основные. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2511-2017. – Введ. 31.07.17. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2017. – 52 с.

современных научно обоснованных методов контроля состояния конструкции пожарных автоцистерн позволит повысить их эксплуатационную надежность и увеличить межремонтный период.

Цель работы – обоснование применения современных методов оценки и контроля пожарной аварийно-спасательной техники с целью обеспечения ее безотказной эксплуатации.

### Основная часть

В настоящее время для осуществления контроля качества сварных соединений технического оборудования широко применяются методы неразрушающего контроля<sup>2</sup>. Одним из наиболее распространенных является метод визуального неразрушающего контроля. При использовании данного метода возможно обнаружение таких дефектов сварных соединений, как поверхностная трещина, свищ, прожог, линейное и угловое смещение, несплавление свариваемых материалов<sup>3</sup>. При этом для выполнения работ могут использоваться комплекты визуального инспекторского контроля, например ВИК-1, состоящий из следующих инструментов: универсальный шаблон сварщика УШС-3, лупа ЛПК-471 (двукратная), лупа измерительная ЛИ-10 (десятикратная), штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером, линейка металлическая Л-150 (150 мм), набор радиусных шаблонов № 1 ( $R = 1 \dots 6$  мм), набор радиусных шаблонов № 3 ( $R = 7 \dots 25$  мм), набор щупов № 4 (0,1...1,0 мм), угольник поверочный УШ-100 x 60 мм (100 x 160 мм), фонарь миниатюрный, маркер по металлу Edding 8750 (белый), рулетка 5 м (рис. 1) [3].



Рисунок 1. – Комплект визуального инспекторского контроля ВИК-1

Современным методом, не разрушающим сварных соединений деталей, является капиллярный метод, представляющий собой многооперационный процесс. Типовой перечень операций включает подготовку изделия к контролю, нанесение индикаторной жидкости, удаление ее излишков и проявление индикаторных следов дефектов (рис. 2).

Во время каждой из этих операций поверхность трещины вступает в контакт с несколькими дефектоскопическими материалами, в основном с жидкостями. Поэтому явление смачивания поверхности детали различными жидкими дефектоскопическими материалами играет первостепенную роль. Только благодаря смачиванию возможен контакт между дефектом и дефектоскопическими материалами и реализация капиллярного контроля. Эффективность каждой операции зависит от нескольких физических явлений, определяемых

<sup>2</sup> Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2018. – Введ. 01.07.17. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 32 с.

<sup>3</sup> Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определение: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.07.97. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.

физико-химическими свойствами контактирующих сред и материала объекта. Однако сложность выбора свойств дефектоскопических материалов состоит в том, что в разных операциях одна и та же жидкость должна иметь даже противоположные свойства. Так, при заполнении трещины индикаторная жидкость должна обладать хорошей проникающей способностью, чтобы как можно лучше заполнить полость дефекта. Но парадокс в том, что такую жидкость затем трудно извлечь из трещины при проявлении. В результате пенетрант останется в трещине и не образует следа на поверхности, т. е. трещина таким пенетрантом не будет обнаружена.

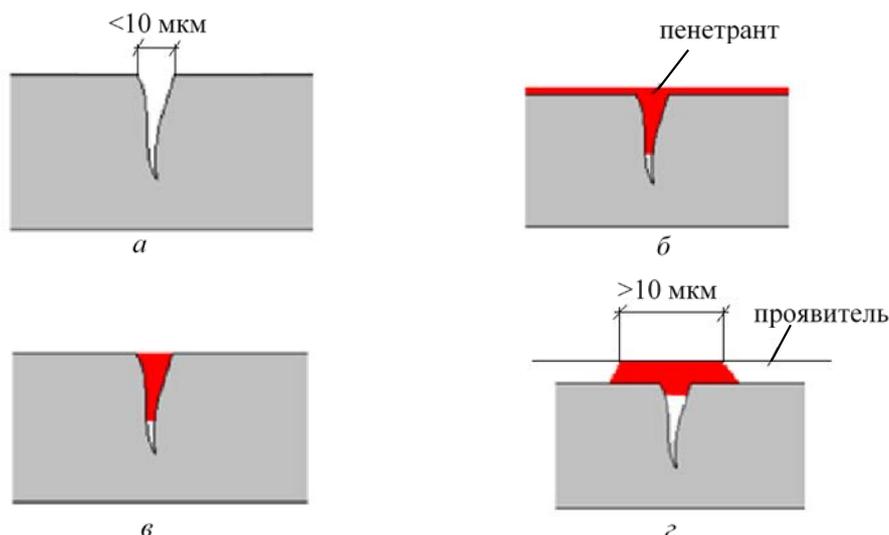


Рисунок 2. – Поиск поверхностных дефектов в металле капиллярным методом

На сегодня промышленностью выпускаются все материалы, необходимые для проведения контроля капиллярным методом: очистители, пенетранты и проявители. Ниже приведены примеры нанесения пенетранта (рис. 3а) и измерения выявленной трещины (рис. 3б).



а – нанесение пенетранта



б – измерение трещины

Рисунок 3. – Практическая реализация капиллярного метода контроля

Одним из высокоэффективных методов неразрушающего контроля швов сварных соединений является ультразвуковая дефектоскопия. Данный метод позволяет осуществлять ультразвуковую диагностику качества сварных соединений, выявлять участки, содержащие дефекты, классифицируя их по типам и размерам. Ультразвуковые методы контроля сварных соединений позволяют с высокой степенью точности выявлять внутренние несплошности (внутренние трещины и поры, шлаковые включения в сварных швах, а также несплошности в околошовной зоне). При этом весь объем наплавленного металла и околошовной зоны должен быть проконтролирован в направлениях, обеспечивающих обнаружение недопустимых несплошностей. Экспериментальным путем установлено, что производительность ультразвукового контроля в среднем в 3–10 раз выше радиографического, при

этом себестоимость ультразвукового контроля в 4–8 раз ниже [4]. При исследовании швов сварных соединений проводится зачистка поверхностей на расстоянии 50–70 мм с двух сторон относительно шва от загрязнений, окисных пленок и лакокрасочных покрытий при их наличии. Проведение контроля сварного шва с обеих сторон увеличивает эффективность исследования и позволяет получить более точные результаты исследований.

Исследование швов сварных соединений проводится с помощью ультразвукового дефектоскопа, например А1211 Mini. Для обеспечения контакта преобразователя с объектом контроля применяется специальная жидкость, например контактный гель или моторное масло. Преобразователь перемещают зигзагообразно вдоль шва с одновременным поворотом вокруг оси на 10–15°. Контроль сварных швов согласно методикам проводится за один или два прохода и регистрацией показаний прибора (рис. 4).



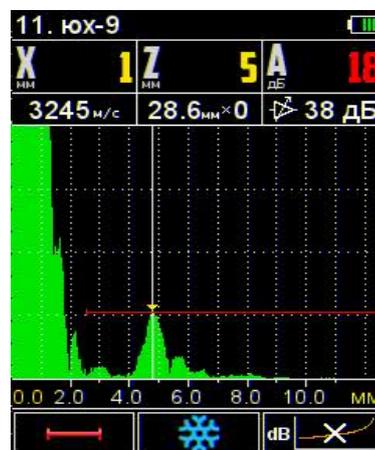
а – подготовка оборудования



б – зачистка и обработка околошовной поверхности



в – проведение ультразвуковой дефектоскопии



г – оценка результатов измерений

**Рисунок 4. – Проведение исследования сварных конструкций автоцистерны методом ультразвуковой дефектоскопии**

Развитие компьютерной техники открыло широкие возможности использования численных методов определения напряжений и деформаций в элементах конструкций сложной формы. Главное преимущество численных методов заключается в том, что они являются универсальными по отношению к вариациям исходной силовой и геометрической информации и позволяют быстро выполнять анализ воздействия разнообразных определяющих переменных (геометрических, нагружения, особенностей структуры и свойств) на состояние механической системы [5]. Метод конечных элементов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами анализа напряженно-деформированного состояния, поскольку обладает широким диапазоном применимости, простотой учета граничных и начальных условий, позволяет экономить трудовые и материальные ресурсы.

Чтобы обеспечить эксплуатационную надежность цистерн пожарных автомобилей, разработан методологический подход<sup>4</sup>, который позволяет оценить и исследовать напряженно-деформированное состояние конструкций оболочечного типа с помощью измеренных значений вибрации и компьютерного моделирования. Разработанные с использованием программного продукта ANSYS расчетные 3D-модели позволили оценить напряженно-деформированное состояние конструкции цистерны пожарного автомобиля в зависимости от различных эксплуатационных режимов (рис. 5) [6].

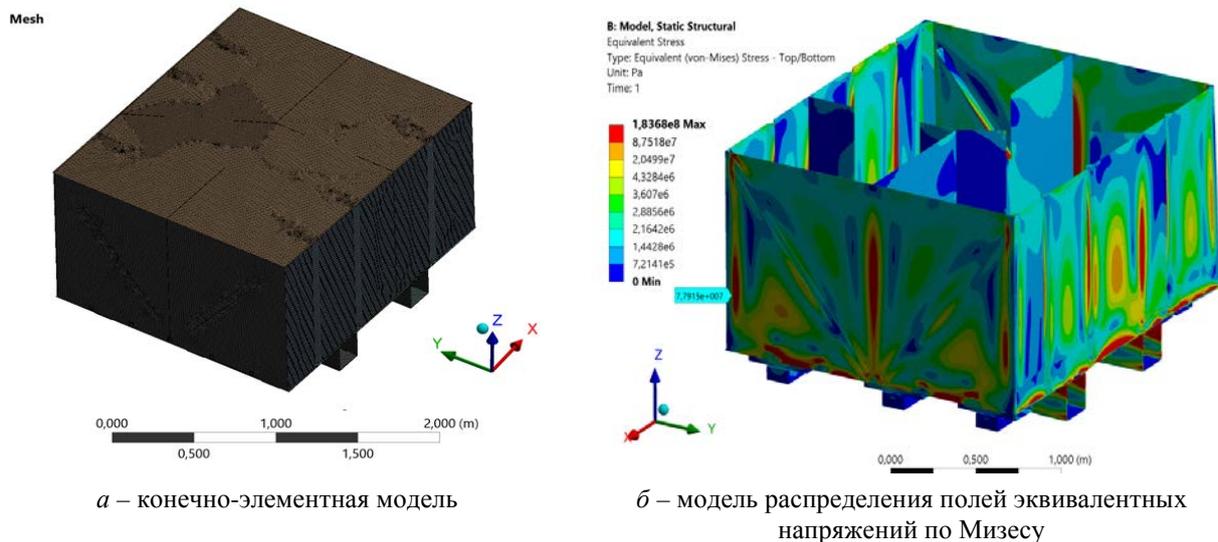


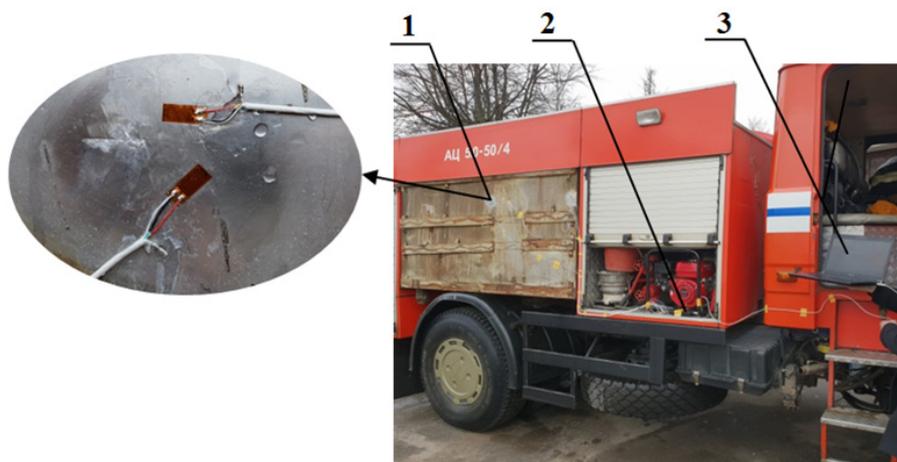
Рисунок 5. – 3D-модели цистерн пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

Для определения динамических характеристик воздействия, которому подвергаются исследуемые объекты при эксплуатации, а также оценки деформаций и механических напряжений в сварных соединениях применяют специальные датчики контроля. Большинство датчиков являются электрическими, что обусловлено их достоинствами: точностью, универсальностью и быстродействием. Измерение деформаций называется тензометрией. Существуют различные виды датчиков: тензорезистивные, пьезорезистивные, пьезоэлектрические, оптико-поляризационные, волоконно-оптические и механические. Их выбор осуществляется в зависимости от типа решаемой задачи.

В работе [7] представлены исследования возникающих механических напряжений в сварных соединениях цистерны при эксплуатации пожарного автомобиля. Измерительный комплекс состоит из программного обеспечения на портативном компьютере, вторичного усилителя МТ-D4 и тензометрических датчиков СЕА-06-250UW-120 (рис. 6). Испытания проводились при различных эксплуатационных режимах движения в соответствии с утвержденной программой и метрологическими требованиями.

Результаты тензометрических исследований позволили подтвердить эффективность применения разработанных методик и рекомендаций, обеспечивающих повышение эксплуатационного ресурса, увеличение запаса прочности и межремонтного периода модернизированных цистерн пожарных автомобилей, эксплуатируемых в аварийно-спасательных подразделениях на территории Республики Беларусь.

<sup>4</sup> Методика динамического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов и узлов конструкций оболочечного типа. – Гомель: ГФ УГЗ МЧС РБ, 2017. – 10 с. – 24.07.2017.



1 – тензометрические датчики СЕА-06-250UW-120;  
2 – вторичный усилитель МТ-Д4; 3 – портативный компьютер

Рисунок 6. – Расположение измерительного комплекса на пожарном автомобиле

### Заключение

Проведенный обзор существующих методов неразрушающего контроля состояния конструкций емкостей для перевозки жидких грузов позволил установить: представленные методы дают возможность эффективно оценить и спрогнозировать эксплуатационное состояние как в целом исследуемой конструкции, так и отдельных ее элементов с целью последующей разработки оптимальных решений для увеличения эксплуатационной надежности и межремонтного периода.

Показано, что применение методов неразрушающего контроля сварных швов позволяет провести диагностику без вывода автоцистерны из боевого расчета, но для оценки сохранности конструкции цистерны при действии динамических нагрузок требуется использование тензометрических методов исследования и численных методов моделирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, И.Н. Системный анализ факторов, влияющих на проходимость пожарного аварийно-спасательного автомобиля / И.Н. Гончаров, О.О. Смиловенко // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 46–52. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.46.
2. Казутин, Е.Г. Методика оценки расхода ресурса металлических цистерн пожарных автомобилей с учетом пробега и коррозионных процессов / Е.Г. Казутин, Б.Б. Альгин, А.В. Коваленко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2018. – № 3 (44). – С. 36–42.
3. Калиниченко, Н.П. Визуальный и измерительный контроль: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.
4. Шахматов, М.В. Работоспособность и неразрушающий контроль сварных соединений с дефектами / М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев, В.В. Коваленко. – Челябинск: ЦНТИ, 2000. – 227 с.
5. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский: пособие: изд. 2-е, испр. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.
6. Ковтун, В.А. Оптимизация конструкции цистерны пожарного автомобиля АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337 методом компьютерного моделирования / В.А. Ковтун [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 38–45. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
7. Ковтун, В.А. Тензометрические исследования напряженного состояния цистерн пожарных автомобилей при различных режимах движения / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.Н. Пасовец // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 39–47. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.39.

**Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов  
пожарной аварийно-спасательной техники**

**Non-destructive testing methods of assemblies and units of fire and emergency technique**

***Бирюк Виктор Алексеевич***

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра промышленной  
безопасности, заведующий кафедрой  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: vik\_biruk@tut.by  
ORCID: 0000-0002-3110-9557

***Viktor A. Biryuk***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Industrial Safety, Head of the Chair  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: vik\_biruk@tut.by  
ORCID: 0000-0002-3110-9557

***Пасовец Владимир Николаевич***

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра промышленной  
безопасности, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: pasovets\_v@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9451-9513

***Vladimir N. Pasovets***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Industrial Safety, Associate Professor  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: pasovets\_v@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9451-9513

***Журов Марк Михайлович***

кандидат технических наук  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра процессов  
горения и взрыва, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: zhurmark@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-5228-7371

***Mark M. Zhurov***

PhD in Technical Sciences  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Combustion and Explosion Processes,  
Associate Professor  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: zhurmark@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-5228-7371

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>

## NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS OF ASSEMBLIES AND UNITS OF FIRE AND EMERGENCY TECHNIQUE

**Biryuk V.A., Pasovets V.N., Zhurov M.M.**

*Purpose.* The substantiation of the use of modern methods for assessing and monitoring the state of fire and emergency equipment in order to ensure its trouble-free operation.

*Methods.* Non-destructive methods, computer simulation, tensometry.

*Findings.* The review of methods existing for assessment and control of assemblies and units of fire and rescue vehicles technical state is performed. Some results of their application are presented. The application possibility of non-destructive testing methods is assessed.

*Application field of research.* Fire rescue equipment, welded joints of technical objects.

*Keywords:* fire truck, tank, deformation, sensor, mechanical stress, non-destructive methods, welded joint.

(The date of submitting: June 2, 2020)

### REFERENCES

1. Goncharov I.N., Smilovenko O.O. Sistemnyy analiz faktorov, vliyayushchikh na prokhdimost' pozharnogo avariyno-spasatel'nogo avtomobilya [System analysis of the factors influencing cross-country ability of emergency and rescue vehicle]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 1. Pp. 46–52. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.46.
2. Kazutin E.G., Algin V.B., Kovalenko A.V. Metodika otsenki raskhoda resursa metallicheskikh tsistern pozharnykh avtomobiley s uchetom probega i korrozionnykh protsessov [Evaluation method of lifetime of fire trucks' metallic tanks with consideration of mileage and corrosion processes]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2018. No. 3 (44). Pp. 36–42. (rus)
3. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyy i izmeritel'nyy kontrol' Uchebnoe posobie dlya podgotovki spetsialistov I, II i III urovnya* [Visual and measuring control: tutorial for the training of specialists of I, II and III levels]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009. 300 p. (rus)
4. Shakhmatov M.V., Erofeev V.V., Kovalenko V.V. *Rabotosposobnost' i nerazrushayushchiy kontrol' svarnykh soedineniy s defektami* [Performance and non-destructive testing of welded joints with defects]. Chelyabinsk: TsNTI, 2000. 227 p. (rus)
5. Morozov E.M., Muzyemnek A.Yu., Shadskiy A.S. *ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniya* [ANSYS in the engineer's hands: Destruction mechanics]. 2nd ed. Moscow: LENAND, 2010. 456 p. (rus)
6. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N., Todorov I. Optimizatsiya konstruksii tsisterny pozharnogo avtomobilya ATs-5.0-50/4 na baze shassi MAZ-5337 metodom komp'yuternogo modelirovaniya [Optimization of the fire truck's tank AC-5.0-50/4 based on the chassis MAZ-5337 by the method of computer modeling]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 1. Pp. 38–45. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
7. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N. Tenzometricheskie issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya tsistern pozharnykh avtomobiley pri razlichnykh rezhimakh dvizheniya [Tenzometric research of stress state of fire truck tanks at various motion modes]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 39–47. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.39.