

## Транспортные системы Transport systems

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 629.331:620.179.1  
doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-28-36

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ РЕМОНТЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Александр Генрикович Отока<sup>1✉</sup>, Сергей Владимирович Моисеев<sup>2</sup>, Олег Викторович Холодилов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Гомельское вагонное депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги»; Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

<sup>2</sup> ООО «Автопромсервис», Гомель, Республика Беларусь

<sup>3</sup> Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь

<sup>1</sup> otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

<sup>2</sup> serheimoiseev@gmail.com

<sup>3</sup> olhol@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

#### Аннотация

Применяя неразрушающий контроль на различных этапах технологического процесса изготовления и ремонта автомобилей, можно вовремя устранить причину брака, корректировать технологический процесс в случае сбоя оборудования, а также установить причинно-следственные связи (факторы), влияющие на возникновение дефектов, от которых напрямую зависит надежность и эффективность дальнейшей технической эксплуатации. При этом сокращается простой транспорта в условиях как производства (при изготовлении), так и при ремонте (в эксплуатации).

В статье подробно описывается комплекс методов неразрушающего контроля, который применялся при ремонте двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля и способствовал выявлению скрытого сквозного дефекта в виде трещины.

**Ключевые слова:** жидкость, двигатель внутреннего сгорания, автомобиль, контроль, эндоскоп, герметичность, опрессовка, цилиндр, вкладыш, поршень, визуальный контроль, диагностика, ремонт.

Ссылка для цитирования:

Отока А.Г. Применение комплекса методов неразрушающего контроля при ремонте двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля / А.Г. Отока, С.В. Моисеев, О.В. Холодилов // Транспортное машиностроение. – 2024. – №12. – С. 28-36. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-28-36.

Original article  
Open Access Article

### APPLICATION OF A SET OF NONDESTRUCTIVE TESTING METHODS DURING THE REPAIR OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE OF A PASSENGER CAR

Aleksandr Henrikovich Otoka<sup>1✉</sup>, Sergey Vladimirovich Moiseev<sup>2</sup>, Oleg Viktorovich Kholodilov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gomel Car Shed Gomel Branch of the Belarusian Railway; Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Avtopromservice, Gomel, Republic of Belarus

<sup>3</sup> Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

<sup>1</sup> otokaa@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9926-9439>

<sup>2</sup> serheimoiseev@gmail.com

<sup>3</sup> olhol@tut.by, <https://orcid.org/0009-0005-5799-0097>

## Abstract

By applying nondestructive testing at various stages of the manufacturing process and repairing cars, it is possible to eliminate the cause of the defect in time, adjust the manufacturing process in case of equipment failure, and also find out cause-and-effect relations (factors) affecting the occurrence of defects, on which reliability and efficiency of further technical operation directly depend. At the same time, the downtime of transport is reduced in conditions of both production (during manufacture) and repair (in operation).

### Reference for citing:

Otoka AG, Moiseev SV, Kholodilov OV. Application of a set of nondestructive testing methods during the repair of the internal combustion engine of a passenger car. *Transport Engineering*. 2024;12: 28-36. doi: 10.30987/2782-5957-2024-12-28-36.

## Введение

Современные автомобильные детали в процессе их эксплуатации подвергаются различным воздействиям, вызывающим определенные изменения физических характеристик материалов, из которых они изготовлены. Результатами этих изменений являются различные дефекты, обнаружение которых возможно, благодаря применению комплекса методов и средств неразрушающего контроля (НК) [1]. Ввиду того что арсенал этих методов достаточно велик, на практике пользуются популярностью наиболее чувствительные методы выявления дефектов в зависимости от того, что мы ищем, в каких материалах, в каких условиях и т.д.

Например, широкое применение для обнаружения поверхностных дефектов в различных отраслях промышленности получили такие виды контроля, как контроль проникающими веществами (капиллярная дефектоскопия), магнитный (магнитопорошковая дефектоскопия), оптический (визуальный и визуально-оптический, эндоскопия), вихретоковый, радиационный (радиографический) и др. Для выявления сквозных дефектов эффективны методы течеискания (газовые и жидкостные методы контроля герметичности).

Как показывает обзор научно-технической информации номенклатура используемых методов НК в автомобильной отрасли мала и использование, например, методов капиллярного контроля и магнитопорошковой дефектоскопии при обнаружении трещин практически не известно. В тоже время чувствительность

The paper describes in detail a set of non-destructive testing methods that were used in the repair of an internal combustion engine of a passenger car and contributed to finding a hidden through defect in the form of a crack.

**Keywords:** liquid, internal combustion engine, car, control, endoscope, tightness, molding, cylinder, insert, piston, visual inspection, diagnostics, repair.

вышеупомянутых методов при выявлении поверхностных дефектов сравнима и очень высока [2, 3].

В данной статье описано применение комплекса методов НК при ремонте нового автомобиля, который, проехав менее 500 км, перестал заводиться с первого раза. В целях соблюдения конфиденциальности и профессиональной этики марка легкового автомобиля не приводится.

Основными проблемами, на которые указывал владелец автомобиля, были периодическое загорание индикатора неисправности двигателя и нестабильный запуск двигателя. При этом было обнаружено снижение уровня антифриза в бачке. Как показывает практика, утечка антифриза из системы охлаждения двигателя, часто встречающаяся неисправность, которая может привести к поломке автомобиля.

Визуальный осмотр подкапотного пространства автомобиля на утечку антифриза из двигателя, расширительного бака, в местах фиксации резиновых патрубков по свойственным потекам не принес положительных результатов.

В ходе проведения диагностики автомобиля было установлено, что уровень масла в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) выше отметки «max», в масле присутствует эмульсия охлаждающей жидкости (ОЖ), что определяется по характерным признакам в виде «сгущенного молока» или, как еще говорят автомобилисты, «кофе с молоком» на пробке маслозаливной горловины ДВС (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Результаты внешнего осмотра подкапотного пространства автомобиля

а – отсутствие уровня ОЖ в баке; б – пробка маслозаливной горловины ДВС с признаками эмульсии ОЖ

Fig. 1. Results of an external inspection of the engine compartment of the car a – lack of COOLANT level in the tank; b – plug of the oil filler neck of the internal combustion engine with signs of coolant emulsion

Целью работы было выявить цилиндр ДВС, через который непосредственно происходит утечка антифриза.

Справочная информация по результатам диагностики:

- в путевых параметрах зафиксированы коды неисправности P1302-00 цилиндр №2;

- обнаружены пропуски воспламенения критичные для нейтрализатора, P0363-00;

- обнаружены случайные множественные пропуски;

- обнаружены пропуски воспламенения, отключена топливоподача в неработающий цилиндр, P1304-00 цилиндр №4;

- обнаружены пропуски воспламенения критичные для нейтрализатора, P1302-00 цилиндр №2;

- обнаружены пропуски воспламенения критичные для нейтрализатора, P1300-00;

- общее количество пусков двигателя 108, количество успешных пусков 101.

### Технические средства и методика исследования

Контроль герметичности (течеискание) цилиндропоршневой группы (ЦПГ) занимает важное место при ремонте автомобилей. Методы течеискания предназначены для оценки степени герметичности объекта контроля, а также для локализации течей как в основном материале, так и в соединениях различного типа – сварных, паяных, разъёмных и т. п. [4]

Герметичность является одним из основных свойств ДВС, когда речь идёт о его надёжной и безопасной эксплуатации.

Наличие антифриза в ЦПГ на практике определяли с помощью жидкостного метода контроля герметичности опрессовкой системы охлаждения двигателя, путём

создания рабочего давления в расширительном бачке и последующего осмотра мест, где возможно появление потёков, струй, капель [5]. В нашем случае это течь (сквозной канал) в стенке цилиндра ДВС. В качестве приспособлений для опрессовки системы охлаждения ДВС использовался ручной насос с манометром. Для обнаружения течи внутри цилиндра применялся гибкий автомобильный управляемый эндоскоп *jProbe NT (General Optics, Тайвань)*. Обнаружение скрытой трещины осуществлялось с помощью набора капиллярного контроля, состоящего из трех баллонов MR 68С (пенетрант), MR88 (очиститель), MR70 (проявитель).

### Результаты исследования и их обсуждение

После создания рабочего давления с помощью эндоскопа было выявлено попадание ОЖ в цилиндр № 2 ДВС (рис. 2).

После демонтажа ГБЦ, был выполнен осмотр камеры сгорания ГБЦ во цилиндре № 2. Однако подтвердить наличие

поверхностных дефектов в цилиндре визуальным методом не удалось (рис. 3).

Выявляющая способность визуального контроля ограничена возможностями человеческого зрения, что является основным недостатком метода. Чаще всего осмотр проводится в условиях освещённости худшей, чем при дневном свете. На расстоянии наилучшего зрения (250 мм) нормальный человеческий глаз способен различить две точки, отстоящие одна от другой на 0,1 мм. Однако имеется и субъ-

ективный фактор восприятия зрительной информации. Человек видит то, что знает. Незнакомые, неопознанные мозгом предметы остаются вне его внимания. Поэтому важнейшим вопросом является определение диагностических признаков, различаемых особенностями осматриваемой поверхности. По отношению к металлическим деталям такими признаками являются: цвет, форма, сплошность, шероховатость поверхности [6, 7].



а)



б)

Рис. 2. Опрессовка системы охлаждения

а – общий вид технологического процесса проверки каналов системы охлаждения двигателей на герметичность с помощью насоса с манометром;

б – выявление капель ОЖ в камере сгорания цилиндра №2 с помощью эндоскопа

*Fig. 2. Crimping of the cooling system*

*a – a general view of the technological process of checking the channels*

*of the engine cooling system for tightness using a pump with a pressure gauge;*

*b – detection of coolant droplets in the combustion chamber of cylinder №2 using an endoscope*



Рис. 3. Результаты визуального контроля камеры сгорания ГБЦ (цилиндр №2)

*Fig. 3. Results of visual inspection of the cylinder head combustion chamber (second cylinder)*

Ввиду того, что объект контроля изготовлен из дюралюминия, был применён

капиллярный метод НК, по результатам которого был выявлен дефект в ГБЦ цилиндра № 2 в виде отдельных округлых пятен, сливающихся в одну линию и внешне напоминающий обычную традиционную трещину (рис. 4).

Трещины – это разрывы, преимущественно двухмерного характера. Ограничивающие поверхности трещин часто располагаются перпендикулярно к поверхности детали.

Капиллярный контроль проводился с предварительной очисткой контролируемой поверхности ГБЦ (в зоне фиксации течи эндоскопом) и последующей её сушкой. После чего на дефектную область поверхности наносился пенетрант, проникающий в глубь трещины. Через 10 мин пе-

нетрант удалялся с контролируемой поверхности и на неё наносился проявитель. Остатки пенетранта, которые проникли в полость дефекта, впитались в проявитель и образовали индикаторный рисунок поверхности дефекта.

Визуализация несплошностей облегчается как вследствие наличия цветового

контраста индикаторных рисунков на фоне поверхности объекта контроля, так и за счёт большей ширины рисунка по сравнению с действительной шириной раскрытия самой несплошности. Ширина и яркость (интенсивность) следа дефекта увеличивается с увеличением его размеров [8-10].



а) б)  
Рис. 4. Проведение цветной капиллярной дефектоскопии (камера сгорания ГБЦ, цилиндр №2)

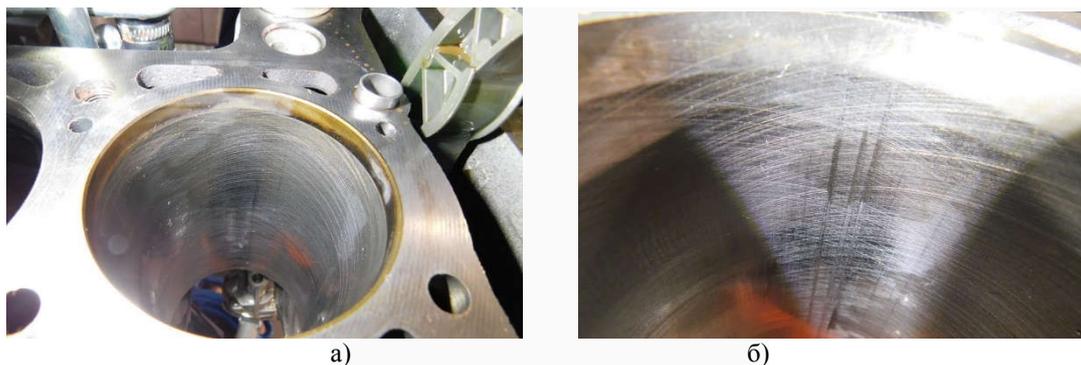
а – общий вид после очистки поверхности и нанесения пенетранта;  
б – выявление дефекта после очистки пенетранта и нанесения проявителя

*Fig. 4. Conducting color capillary flaw detection (cylinder head combustion chamber, second cylinder)*

*a – general view after cleaning the surface and applying the penetrant;  
b – defect detection after cleaning the penetrant and applying the developer*

В ходе осмотра блока цилиндров в цилиндрах № 1-3 обнаружены задиры на рабочей поверхности цилиндров, которые

ощущаются тактильно и имеют зацеп, присутствует повреждение хона.



а) б)  
Рис. 5. Осмотр блока цилиндров: а – задиры и повреждение хона в цилиндре №1;  
б – задиры и повреждение хона в цилиндре №2

*Fig. 5. Inspection of cylinder block: a – bullies and damage to the hone in cylinder №1;  
b – bullies and damage to the hone in cylinder №2*

При осмотре поршней на юбке поршней цилиндров № 1-3 также обнаружены натирсы, тактильно ощущаются царапины. В большей степени повреждён цилиндр и поршень № 2 (рис. 6).

Поверхность прилегания ГБЦ и БЦ по плоскостности отклонений не имеет. Зазоры не превышают 0,03 мм. Выявлено, что шатунные вкладыши цилиндров № 1-3 и коренные вкладыши имеют задиры на рабочей поверхности (рис.7, 8).

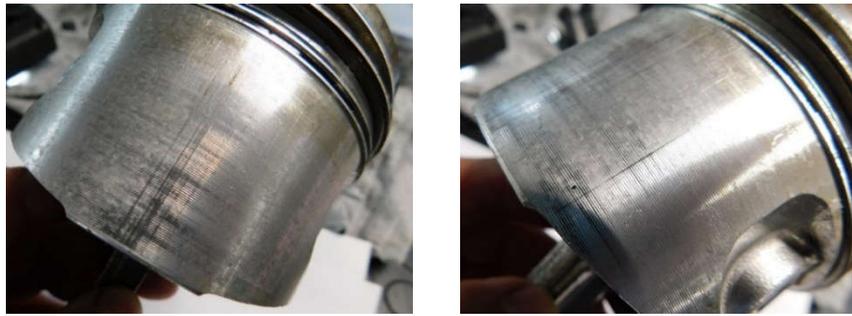
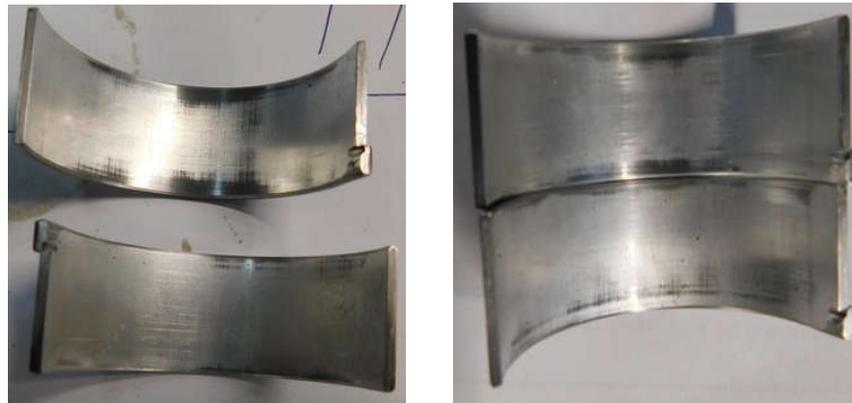


Рис. 6. Результаты внешнего осмотра поршня цилиндра №2  
*Fig. 6. Results of external inspection of the piston of cylinder №2*



а) б)  
 Рис. 7. Осмотр вкладышей шатуна цилиндров

а – вкладыш шатуна цилиндра №2; б – вкладыш шатуна цилиндр №3  
*Fig. 7. Inspection of cylinder connecting rod inserts*  
 a – cylinder connecting rod insert №2; b – connecting rod insert cylinder №3

Вкладыши со стороны маховика имеют задиры, которые ощущаются тактильно и имеют зацеп. Постель коленчатого вала (КВ) в месте установки вкладыша со стороны маховика имеет задиры который тактильно ощущаются как зацеп (рис. 8).

На рисунках 6–8 отчетливо видно, что на поверхности объектов контроля имеются контактно-усталостные повреждения в виде шелушения металла (выкрашивания), одной из причин которой является нарушение масляной плёнки.

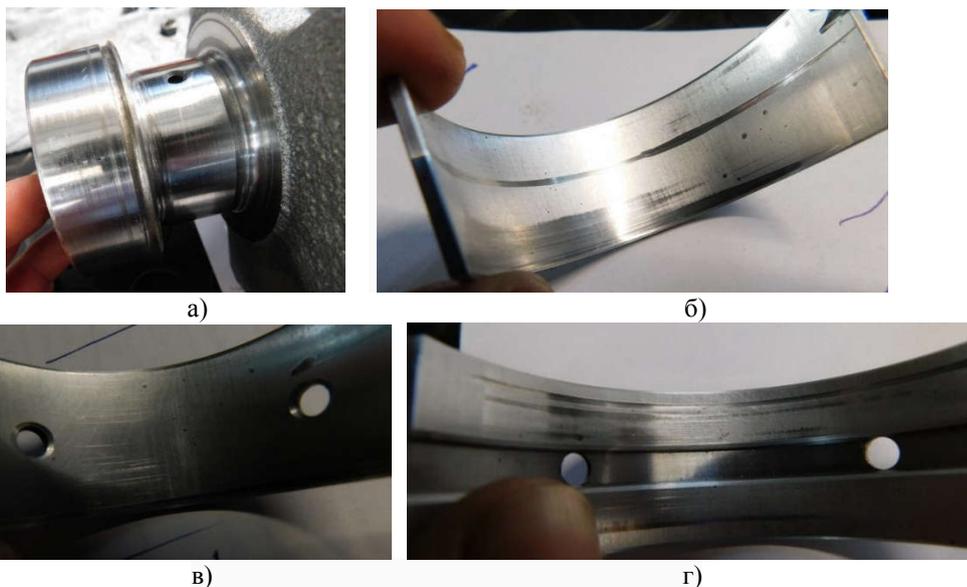


Рис. 8. Осмотр КВ и коренных вкладышей шеек КВ: а – КВ шейка 5; б – коренной вкладыш шейки 1 КВ; в – коренной вкладыш шейки 3 КВ; г – коренной вкладыш шейки 5 КВ  
*Fig. 8. Inspection of KV and root inserts of KV necks a – KV neck 5; b – root insert of neck 1 KV; c – root insert of neck 3 KV; d – root insert of neck 5 KV*

## Заключение

Таким образом, можно утверждать, что выбор рассмотренного комплекса методов НК оправдывает себя на практике. Применение на практике методов проникающих веществ в виде: течеискания (контроль герметичности) способом опрессовки замкнутой системы ОЖ и капиллярного контроля, а также оптического вида НК (эндоскопия) позволило выявить скрытый дефект. После опрессовки замкнутой системы использование эндоскопа позволило повысить эффективность ремонтных воздействий при общем снижении затрат на ремонт и определить дефектный участок без разборки ДВС. Однако, подтвердить наличие трещины (в нашем случае сквозной), в зоне фиксации эндоскопом течи, представилось возможным только благодаря капиллярному контролю.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 причиной попадания ОЖ во цилиндр № 2 ДВС является брак ГБЦ, трещина в камере сгорания;

2 попадание ОЖ в цилиндр № 2 ДВС привело к смыву масляной плёнки с

рабочей поверхности цилиндров, образованию эмульсии в моторном масле. что в дальнейшем вызвало появление задиров и повреждению хона в ГБЦ, задиров на поверхности поршней цилиндров №1-3, задиров на поверхности коренных и шатунных вкладышей, задира на поверхности пастели катания коленчатого вала.

В связи с наличием указанных дефектов ремонт ДВС нецелесообразен, поэтому необходимо выполнить замену ДВС в сборе.

Статистические данные говорят о том, что дефекты в виде трещин в ГБЦ или БЦ встречаются достаточно часто [11]. Чаше трещины появляются в ГБЦ дизельных двигателей, что объясняется более высоким уровнем нагрузок в моторах такого типа в сравнении с бензиновыми.

В нашем случае причиной отказа двигателя был литейный дефект, возникший при изготовлении. Практика показывает, что использовать только визуальный контроль при поиске трещин недостаточно. Пропущенная при осмотре трещина сведёт все усилия к нулю и работу нужно будет выполнять повторно.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев А.А., Горин Л.Н., Игошин Д.Н. Неразрушающий контроль и возможность его применения в авторемонтном производстве. Academy. 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nerazrushayuschiy-kontrol-i-vozmozhnost-ego-primeneniya-v-avtoremontnom-proizvodstve> (дата обращения: 08.10.2024)
2. Отока А.Г., Шлапак П.С. Опыт использования магнитопорошкового и капиллярного методов неразрушающего контроля при обнаружении дефектов в объектах контроля нефтяной промышленности. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023. Том 8, №2. С.147-154. <https://doi.org/10/51890/2587-7399-2023-8-2-147-154>.
3. Отока А.Г., Холодилов О.В. Сравнение выявляющей способности методов капиллярного и магнитопорошкового контроля в условиях локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги. Проблемы безопасности на транспорте: матер. XII междунар. науч.-прак. конференции, Гомель. 2022. С. 150-153 с.
4. Отока А.Г., Картузов Н.А., Холодилов О.В. Проверка герметичности пневматического и газового оборудования пузырьковым методом на примере технологической оснастки Гомельского вагонного депо. Вестник БелГУТа: наука и транспорт. 2023. С. 81-83 с.
5. Методические рекомендации о порядке проведения контроля герметичности технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах Серия 32. Выпуск 8. Колл. авт. - М.: Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2012. 87 с.
6. Дорохин Ю.С., Сергеев А.Н., Ушаков М.В. и др. Экспертиза и диагностика объектов и систем сервиса: учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. 160 с.
7. Евлампиев А. И., Попов Е.Д., Сажин С.Г. и др. Контроль герметичности. В кн.: Неразрушающий контроль. Справочник. Под ред. В. В. Клюева. Т. 2. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2003. 339 с. ISBN 5-271-03200-6

8. СТБ 1172-99. Контроль неразрушающий. Контроль проникающими веществами (капиллярный). Основные положения. Взамен: ГОСТ 18442-80; введ. 30.08.1999. 13 с.
9. Контроль проникающими веществами. Пенетрант и другие материалы для капиллярной дефектоскопии. URL: <https://defektoskopist.ru/osnovi-nk/penetranty.34> (дата обращения: 13.10.2024)

10. Прохоренко П.П. Физические методы неразрушающего контроля – качеству литейных материалов. Литье и металлургия. 2007. №1 (41). С.136-139.
11. Ремонт двигателей. Опрессовка головки и блока цилиндров двигателя. URL: <https://www.zaoair.com/customers/articles/opressovka-golovki-i-bloka-tsilindrov-dvigatelya/> (дата обращения: 13.10.2024).

## REFERECES

1. Vasiliev AA, Gorin LN, Igoshin DN. Non-destructive testing and the possibility of its application in car repair production. Academy [Internet]. 2017 [cited 2024 Oct 08]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/nerazrushayuschiy-kontrol-i-vozmozhnost-ego-primeneniya-v-avtoremontnom-proizvodstve>
2. Otoka AG, Shlapak PS. Experience of using magnetic powder and capillary methods of non-destructive testing in detecting defects of control objects in the oil industry. POneft. Professionally about Oil [Internet]. 2023;8(2):147-154. Available from: <https://doi.org/10/51890/2587-7399-2023-8-2-147-154>.
3. Otoka AG, Kholodilov OV. Comparison of the revealing ability of capillary and magnetic powder control methods of the locomotive industry of the Belarusian railway. Proceedings of XII International Scientific Practical Conference, 2022: Problems of Transport Safety. Gomel; 2022.
4. Otoka AG, Kartuzov NA, Kholodilov OV. Checking the tightness of pneumatic and gas equipment by bubble method on the example of technological equipment of Gomel car shed. Bulletin of BSUT: Science and Transport. 2023.

5. Guideline on monitoring the tightness of technical devices and structures used and operated at hazardous production facilities. Moscow: Scientific and Technical Center for Safety in Industry; 2012.
6. Dorokhin YuS, Sergeev AN, Ushakov MV. Expertise and diagnostics of facilities and service systems: textbook. Tula: TuLSU Publishing House; 2015.
7. Evlampiev AI, Popov ED, Sazhin SG. Tightness control. Moscow: Mashinostroenie; 2003.
8. CCUB 18442-80 STB 1172-99. Non-destructive testing. Control of penetrating substances (capillary). General requirements. Belarus; 2009.
9. Control of penetrating substances. Penetrant and other materials for capillary flaw detection [Internet]. [cited 2024 Oct 13]. Available from: <https://defektoskopist.ru/osnovi-nk/penetranty.34>
10. Prokhorenko PP. Physical methods of non-destructive testing for the quality of foundry materials. Foundry Production and Metallurgy. 2007;1(41):136-139.
11. Engine repair. Casting of the engine head and cylinder block [Internet]. [cited 2024 Oct 13]. Available from: <https://www.zaoair.com/customers/articles/opressovka-golovki-i-bloka-tsilindrov-dvigatelya/>.

## Информация об авторах:

**Отока Александр Генрикович** – инженер Гомельского вагонного депо РУП «Гомельское отделение Белорусской железной дороги»; инженер испытательного центра железнодорожного транспорта Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТа), аспирант кафедры «Вагоны», тел. +375336163548, SPIN-код: 2466-5708; AuthorID 1220168; Orcid: 0009-0003-9926-9439.

**Otoka Aleksandr Henrikovich** – Engineer of Gomel Car Shed Gomel Branch of the Belarusian Railway; engineer of the Railway Testing Center at Belarusian State University of Transport, postgraduate student of the Department of Cars, phone: +375336163548, SPIN code: 2466-5708; AuthorID 1220168; Orcid: 0009-0003-9926-9439.

**Моисеев Сергей Владимирович** – мастер слесарного участка ООО «Автопромсервис», тел. +375297389865.

**Холодилев Олег Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны» Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ), тел. +375292349089, SPIN-код: 1818-4103; AuthorID: 188646 Orcid: 0009-0005-5799-0097; Scopus Author ID: 7003865569.

**Moiseev Sergey Vladimirovich** – Master of Avtopromservice locksmith section, phone: +375297389865.

**Kholodilov Oleg Viktorovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Cars at Belarusian State University of Transport, phone: +375292349089, SPIN code: 1818-4103; AuthorID: 188646 Orcid: 0009-0005.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 16.10.2024; одобрена после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 27.11.2024. Рецензент – Петрешин Д.И., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 16.10.2024; approved after review on 28.10.2024; accepted for publication on 27.11.2024. The reviewer is Petreshin D.I., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**