

Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Головачук І.П., Придюк В.М., Оксенюк В.А.  
*Луцький національний технічний університет*

## МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ П'ЯТЕН РОЗПИЛУ ПАЛИВА ФОРСУНКАМИ

У роботі запропоновано новий метод фрактальної діагностики якості розпилу палива форсунками дизельних ДВЗ. Розроблена оригінальна методика, яка дозволяє виділяти кількісні ознаки із зображення розпилу палива форсункою, і за допомогою цих ознак, перевіряти чи дійсно зображена на фотографії точкова множина крапель близька до еталонного зображення п'ятна розпилу еталонною форсункою із еталонною дробовою розмірністю. Зручність такої методики фрактальної діагностики полягає у тому, що вона не потребує застосування спеціальних пристроїв для перевірки та діагностики форсунок, а також використання дорогого фотометричного устаткування

**Ключові слова:** фрактальна діагностика, кількісні ознаки зображення розпилу, точкова множина крапель, еталонна дробова розмірність, спеціальні пристрої діагностики.

**Постановка проблеми.** Проблема якісного діагностування паливної апаратури дизельних ДВЗ завжди є і буде актуальною для наукових досліджень спеціалістів, що працюють у галузі технічного обслуговування автомобілів [8, 9]. Один із основних показників такого діагностування, а саме аналіз якості розпилу палива форсунками на сьогодні проводиться або надто складними і дорогими методами, або просто на візуально-досвідному рівні майстра, із визначенням роботоздатний чи ні розпилювач форсунки [3, 7].

З іншого боку, традиційно до останнього часу, моделі різних технічних об'єктів, явищ та процесів будувалися на основі комбінацій простих геометричних фігур: прямих, багатокутників, відомих кривих ліній, багатогранників, елементарних криволінійних поверхонь. Проте очевидно, що цей класичний набір [2] стає погано застосовним для моделювання або аналізу таких геометрично складних об'єктів як: контури берегових ліній материків, форма хмар або сніжинок, розряди блискавки в повітрі, мікрогеометрія оброблених деталей і, найголовніше у контексті цієї роботи – зображень п'ятен розпилу палива дизельними форсунками (рис. 1).

При проведенні діагностики форсунок можна помітити, що сліди палива на папері під час розпилу нагадують дискретний точковий фрактал, який має дробову розмірність [10].

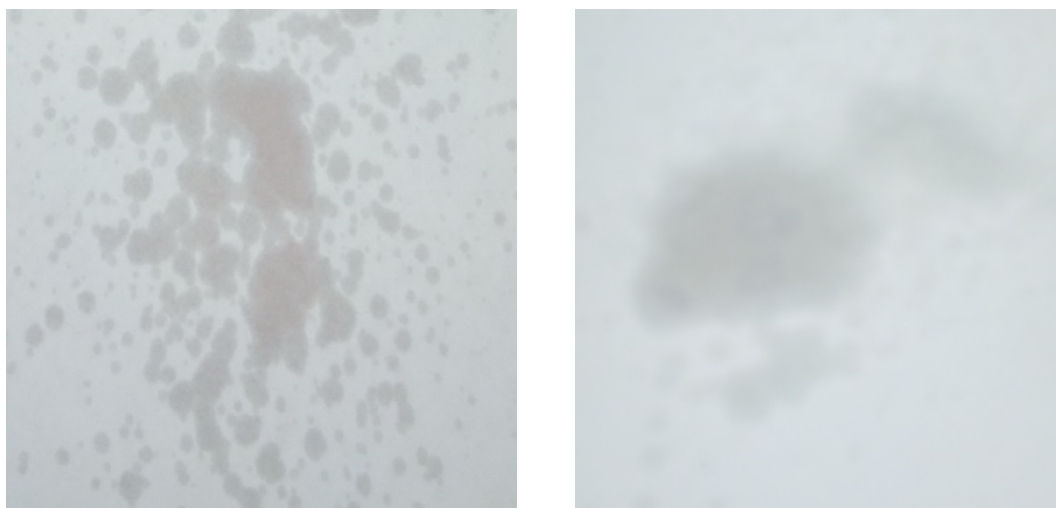


Рис. 1 – Зображення розпилу палива форсунками

Досліджуючи низку фрактальних величин факелу розпилу чи п'ятен суміші, отриманих від роботи розпилювачів різної конструкції, можна миттєво і кількісно оцінити якість розпилу палива форсункою. Однак є проблема із відсутністю методики адекватної ідентифікації фотографій п'ятен розпилу та підготовки таких фотографій до комп'ютерних розрахунків.

**Аналіз останніх досліджень.** Системи ідентифікації фотографій різних фізичних об'єктів або явищ широко використовуються у різних галузях сучасного виробництва [1, 4]. Із наукової точки зору, достатньо добре вивчені системи, що використовуються для ідентифікації зображення відбитків пальців, ідентифікації осіб, ідентифікації різних органів живих організмів.

Однак, кількісна ідентифікація фотографій із зображенням аерозольних п'ятен розпилу рідини, а тим більше ідентифікація, в основу якої покладена теорія фрактального моделювання та поняття фрактальної розмірності, практично не використовувались.

В силу новизни цього напрямку, в літературних джерелах відсутні наукові роботи щодо методів фрактальної ідентифікації зображень нечітких краплинних множин.

**Формування цілей роботи.** Метою даної роботи є розробка методики, яка дозволяє виділяти кількісні ознаки із зображення розпилу палива форсункою, і за допомогою цих ознак, перевіряти чи дійсно зображена на фотографії точкова множина крапель близька до еталонного зображення п'ятна розпилу еталонною форсункою із еталонною дробовою розмірністю. Зручність такої методики фрактальної діагностики полягає у тому, що вона не потребує спеціальних пристроїв для перевірки та діагностики, і, крім того, для отримання зображення п'ятна розпилу вона не вимагає використання дорогого фотометричного устаткування.

**Основна частина.** Як і будь-яка інша система розпізнавання зображень, система фрактальної ідентифікації п'ятен розпилу палива форсунками дизельних ДВЗ складається із чотирьох елементів: **отримання зображення п'ятна розпилу палива форсункою, виділення області для фрактального аналізу і підрахунку розмірності, сегментація зображення, генерація ознак і проведення порівняння із еталонним зображенням.**

Початковими даними для даної методики виступають фотографії п'ятен розпилу палива еталонної форсунки із визначеною фрактальною розмірністю п'ятен різними способами комп'ютерної діагностики (рис. 2).

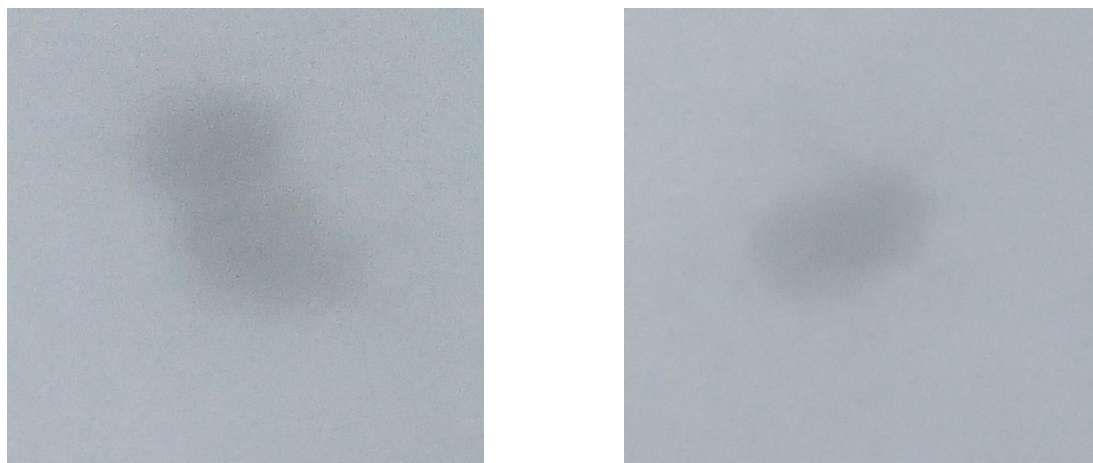


Рис. 2 – П'ятна розпилу еталонної форсунки із фрактальною розмірністю  $D=1.29-1.32$

Передбачається, що існує повноцінна база еталонних зображень п'ятен розпилу різних типів форсунок, де для кожного із типів форсунок зберігається одна або декілька фотографій.

При введенні до системи нового зразка фотографії розпилу форсунки, система повинна визначити фрактальну розмірність п'ятна розпилу і зробити висновок про готовність до експлуатації даної форсунки на двигуні.

Формально постановка завдання виглядає наступним чином: нехай є  $n$  різних п'ятен розпилу еталонних форсунок і  $m$  різних фотографій п'ятен розпилу (рис. 3) ремонтних форсунок, де  $m > n$ . Треба створити алгоритм та методику підрахунку фрактальної розмірності і принципи порівняння кожного нового зображення п'ятна із еталонним зображенням розпилу еталонною форсункою даного типу.



Рис. 3 – П'ятна розпилу ремонтних форсунок

В даній роботі використовується наступний алгоритм для вирішення поставленого завдання:

1. Сегментація зображення п'ятна розпилу.
2. Виконання процедури скелетизації п'ятна. Приклад наведено на рис. 5.
3. Нормалізація зображення п'ятна.
4. Виділення текстурних ознак із нормалізованих зображень п'ятен (рис. 6).

Нижче наведено схему пропонованого алгоритму діагностики розпилу (рис. 4).

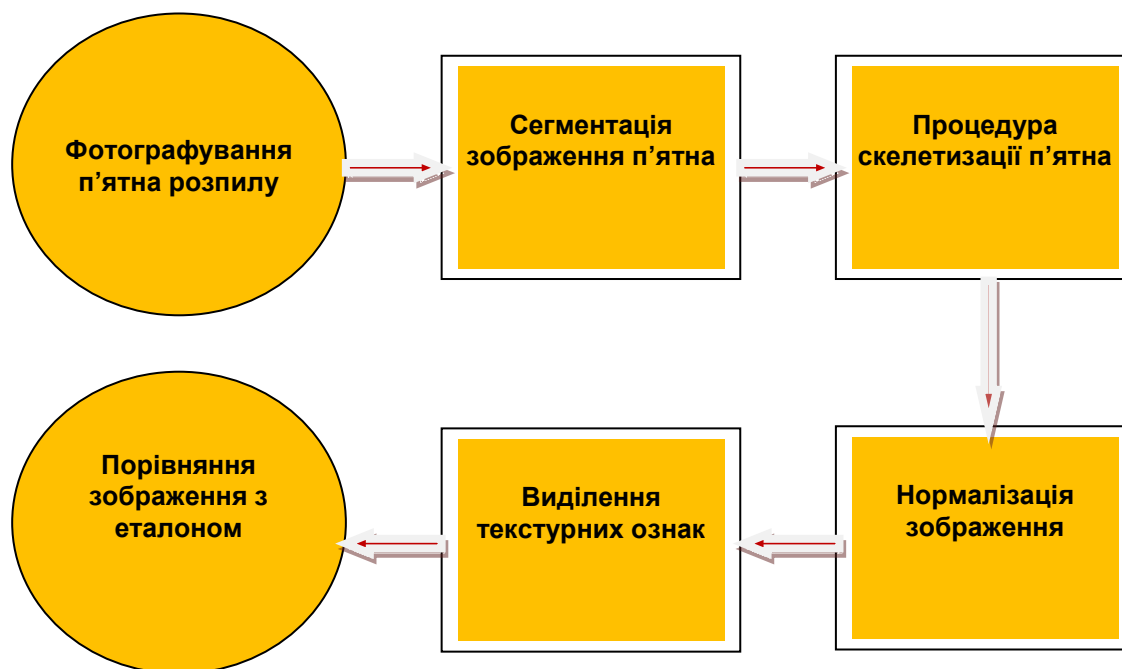


Рис. 4 – Схема ідентифікації зображення п'ятна розпилу

Метод порівняння п'ятен розпилу і визначення їх фрактальної розмірності прямо залежить від однакових умов отримання фотографій потрібних п'ятен, які включають: колір дизпалива, тиск відкриття сопла форсунки, відстань від сопла форсунки до ватману, на якому відображається п'ятно розпилу, кутів нахилу ватману до центрованого сопла форсунки.

Крім того, самі отримані зображення слід привести до єдиного формату. Для цього зображення п'ятен повинні бути перетворені у зображення однакового і фіксованого розміру (ширина 1500п). Цей розмір був вибраний, як максимально ефективний для підрахунку фрактальної розмірності зображень.

Для того, щоб алгоритм фрактальної ідентифікації був стійкішим до умов освітлення, усі кольорові зображення будемо перетворювати у напівтонові.

Інтенсивність пікселя напівтонового зображення обчислюється за наступною формулою:

$$I = 0.29R + 0.58G + 0.13B$$

де  $I$  – інтенсивність пікселя напівтонового зображення,  $R$  – інтенсивність червоного каналу зображення,  $G$  – інтенсивність зеленого каналу зображення,  $B$  – інтенсивність синього каналу зображення.

Перша процедура – це сегментація зображення п'ятна розпилу, тобто встановлення границь інтенсивності крапель на зображенні. Виділення сегменту, який буде далі розглядатись при аналізі і встановленні дробової розмірності, пов'язане із відстанню між окремими частинками п'ятна. Відстань не повинна бути більша за  $3\pi$ .



Рис. 5 – Сигментовані та локалізовані скелети п'ятен розпилу палива ремонтними форсунками

Щоб нормалізувати зображення п'ятен для підрахунку розмірності необхідно спочатку локалізувати їх на зображенні, тобто обчислити границі. Для локалізації зображення виконується процедура обчислення скелету зображення.

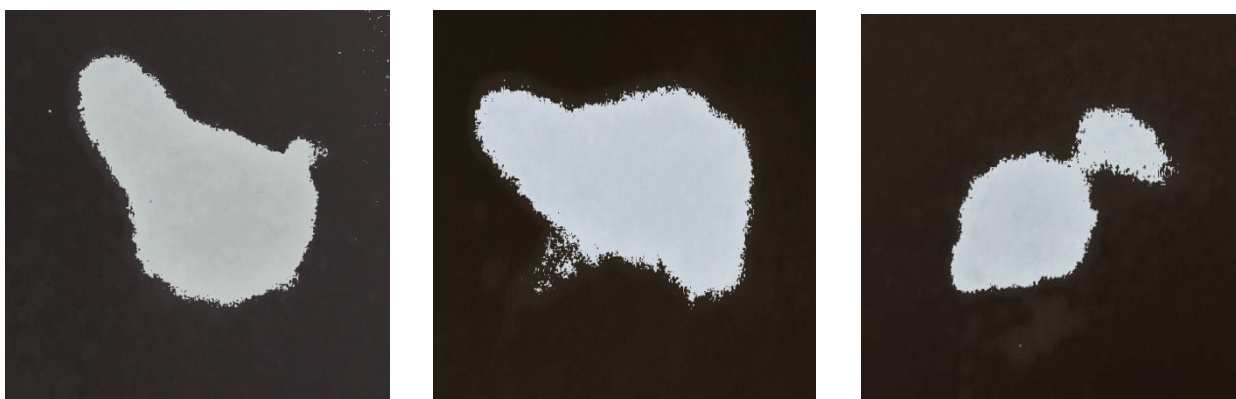


Рис. 6 – Нормалізовані п'ятна розпилу



Рис. 7 – Піксельне представлення скелетів п'ятен розпилу

Дано визначення скелету зображення п'ятна розпилу.

**Визначення 1.** Область п'ятна розпилу на площині – непорожня, зв'язана, відкрита множина точок (пікселів).

**Визначення 2.** Скелетом замкнутої області називається геометричне місце точок області, відстань між якими не перевищує 3п.



Рис. 8 – Текстура п'ятна розпилу зони А у збільшеному вигляді

Приклади нормалізованих п'ятен розпилу наведені на рисунку 6, піксельне представлення скелетів п'ятен - на рис. 7, а збільшене зображення текстури у зоні А (рис. 7) -на рис. 8.

Для підтвердження роботоздатності розробленої методики діагностики був проведений експеримент для форсунок певного типу.

На стенд монтувалася еталонна форсунка. Створювався необхідний тиск впорскування і на папері були отримані ряд п'ятен дизельного пального від розпилу соплами даної еталонної форсунки. Були заміряні всі базові геометричні параметри: кути нахилу досліджуваного зразка до поверхні нанесення п'ятен, відстані від сопла форсунки до цієї ж поверхні.

Із такими ж фіксованими геометричними параметрами всіх відстаней і кутів, отримувались п'ятна і від роботи ремонтних форсунок. Далі, за допомогою фотокамери, були отримані фотографії всіх експериментальних зразків розпилу еталонних і ремонтних форсунок. За допомогою розробленої методики і створеної комп'ютерної програми фотографії проходили всі етапи попередньої підготовки та ідентифікації зображення, що у підсумку дало можливість підрахувати фрактальну розмірність еталонних і ремонтних форсунок. Отримані кількісні показники дають можливість ефективно визначати придатність до роботи ремонтних форсунок дизельних ДВЗ [5, 6].

**Висновки.** У роботі запропоновано новий метод фрактальної діагностики якості розпилу палива форсунками дизельних ДВЗ. Розроблена оригінальна методика, яка дозволяє виділяти кількісні ознаки із зображення розпилу палива форсункою, і за допомогою цих ознак, перевіряти чи дійсно зображена на фотографії точкова множина крапель близька до еталонного зображення п'ятна розпилу еталонною форсункою із еталонною дробовою розмірністю. Зручність такої методики фрактальної діагностики полягає у тому, що вона не потребує спеціальних пристроїв для перевірки та діагностики, і, крім того, для отримання зображення п'ятна розпилу методика не вимагає використання дорогого фотометричного устаткування.

1. Захаров Ю. А. Проверка, диагностика и испытание форсунок дизелей / Ю. А. Захаров, Е. Г. Рылякин // Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения): сборник статей Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2014. С. 43-47.

2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы: [пер. с англ.] / Б. Мандельброт//. – М.: Ин-т компьютерных исслед., 2002.



3. Маецкий А. В. Обзор приборов и методов исследования качества распыливания топлива дизельной форсункой /А. В. Маецкий, А. А. Гребеньков // Молодой ученый. – 2011. – №10. Т.1. – с. 48-54.
4. Новичков А. В. Исследование изнашивания прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры / А. В. Новичков, Е. В. Новиков, Е. Г. Рылякин, А. В. Лахно, П. И. Аношкин // Международный научный журнал. – 2014. – № 3. с. 108-111.
5. Пустюльга С. І. Дискретне векторне формування фрактальних структур / С. І. Пустюльга, В. М. Придюк, І. В. Прушко // Зб. наук. пр. – Луцьк, 2012. – Вип. 37. с. 275-279.
6. Пустюльга С. І. Дискретне векторне формування геометричних об'єктів / С. І. Пустюльга // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Зб. наук. пр. – К., 2011. – Вип. 88. с. 271-278.
7. Туревский И. С. Техническое обслуживание автомобилей. Часть 1. Техническое обслуживание и текущий ремонт автомобилей / И. С. Туревский – М.: ИД «Форум» – ИНФРА-М, 2011. – 432 с.
8. Трелин А. А. Основные показатели технического состояния форсунок – давление начала впрыска, качество распыливания топлива, герметичность и пропускная способность / А. А. Трелин, К. В. Трелина // Труды ГОСНИТИ. –2007. Т. 99. – с. 61-63.
9. Филин, И. Н. Устройство для проверки форсунок дизелей / И. Н. Филин // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции / Пензенская ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. с. 204-206.
10. Федер Е. Фракталы: [пер. с англ.] / Е. Федер. – М.: Мир, 1991.

## REFERENCES

1. Zaharov Yu. A., & Ryilyakin E. G. (2014). Proverka, diagnostika i ispytanie forsunok dizeley. Transport. Ekonomika. Sotsialnaya sfera. (Aktualnyie problemy i ih resheniya): sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 43–47.
2. Mandelbrot B. (2002). Fraktalnaya geometriya prirody: [per. s angl.] In-t kompyuternyih issled.
3. Maetskiy A. V., & Grebenkov A. A. (2011). Obzor priborov i metodov issledovaniya kachestva raspylivaniya topliva dizelnoy forsunkoy. Molodoy uchenyy, 10, T.1, 48–54.
4. Novichkov A. V., Novikov E. V., Ryilyakin E. G., Lahno A. V., & Anoshkin P. I. (2014). Issledovanie iznashivaniya pretsizionnyih detaley dizelnoy toplivnoy apparaturyi. Mezhdunarodnyiy nauchnyiy zhurnal, 3, 108–111.
5. Pustyl'ga S. I., Pridyuk V. M., & Prushko I. V. (2012) Diskretne vektorne formuvannya fraktalnih struktur. Naukovi notatku, 37, 275–279.
6. Pustyl'ga S. I. (2011) Diskretne vektorne formuvannya geometrichnih ob'ektiv. Prikladna geometriya ta Inzhenerna grafika, 88, 271–278.
7. Turevskiy I. S. (2011).Tehnicheskoe obsluzhivanie avtomobiley. Chast 1. Tehnicheskoe obsluzhivanie i tekuschiy remont avtomobiley, 432.
8. Trelin A. A., & Trelina K. V. (2007). Osnovnyie pokazateli tehnicheskogo sostoyaniya forsunok – davlenie nachala vpryska, kachestvo raspylivaniya topliva, germetichnost i propusknaya sposobnost. Trudyi GOSNITI, 99, 61–63.
9. Filin, I. N. (2013). Ustroystvo dlya proverki forsunok dizeley. Vklad molodyih uchenyih v innovatsionnoe razvitie APK Rossii: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 204–206.
10. Feder E. (1991). Fraktalyi [per. s angl.], – М.: Mir.

### *Пустюльга С. И., Самостян В. Р., Головачук И.П., Придюк В. М., Оксенюк В. А. Методика идентификации изображений пятен распыла топлива форсунками*

В работе предложен новый метод фрактальной диагностики качества распыла топлива форсунками дизельных ДВС. Разработана оригинальная методика, которая позволяет выделять количественные признаки по изображению распыла топлива форсункой, и с помощью этих признаков, проверять действительно ли изображенное на фотографии точечное множество капель близко к эталонному изображению пятна распыла эталонной форсункой с эталонной дробной размерностью. Удобство такой методики фрактальной диагностики заключается в том, что она не требует специальных устройств для проверки и диагностики, а также использования дорогого фотометрического оборудования.

**Ключевые слова:** фрактальная диагностика, количественные признаки изображения распыла, точечное множество капель, эталонная дробная размерность, специальные устройства диагностики.

### *S. Pustyl'ha, V. Samostian, I. Holovachuk, V. Prydiuk, V. Okseniuk. The method of identifying the images of atomization spots of fuel spraying by nozzles injectors.*

A new method of fractal diagnostics of the fuel spraying quality by injectors of diesel engines is proposed. An original method has been developed that allows us to distinguish the quantitative characteristics from the image of the fuel spraying by the injector, and with the help of these characteristics, to check whether the dotted set of drops shown in the photograph is close to the reference image of the spot of spraying by the standard nozzle with a reference fractional dimension. The convenience of this method of fractal diagnostics lies in the fact that it does not require special devices for testing and diagnostics, and besides, for the image of a sprayed spot, cutting also does not require expensive photometric equipment.

**Key words:** fractal diagnostics, quantitative features of the sprayed image, set of drops, standard fractional dimension, special diagnostic devices.

**АВТОРИ:**

*ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович*, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, декан МБФ, Луцький національний технічний університет e-mail: [mbf.declutsk@gmail.com](mailto:mbf.declutsk@gmail.com).

*САМОСТЯН Віктор Русланович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Луцький національний технічний університет e-mail: [cymbf@ukr.net](mailto:cymbf@ukr.net).

*ГОЛОВАЧУК Ігор Павлович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Луцький національний технічний університет.

*ПРИДЮК Валентин Михайлович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: [pred\\_mbf@gmail.com](mailto:pred_mbf@gmail.com).

*ОКСЕНЮК Віталій Анатолійович*, магістр кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет.

**АВТОРЫ:**

*ПУСТЮЛЬГА Сергей Иванович*, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной и компьютерной графики, декан МБФ, Луцкий национальный технический университет e-mail: [mbf.declutsk@gmail.com](mailto:mbf.declutsk@gmail.com).

*САМОСТЯН Виктор Русланович*, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, Луцкий национальный технический университет e-mail: [cymbf@ukr.net](mailto:cymbf@ukr.net).

*ГОЛОВАЧУК Игорь Павлович*, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, Луцкий национальный технический университет.

*ПРИДЮК Валентин Михайлович*, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий национальный технический университет e-mail: [pred\\_mbf@gmail.com](mailto:pred_mbf@gmail.com).

*ОКСЕНЮК Виталий Анатоліевич*, магистр кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий национальный технический университет.

**AUTHORS:**

*Serhii PUSTIULHA*, Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering and Computer Graphics department, Dean of MBF, Lutsk National Technical University e-mail: [mbf.declutsk@gmail.com](mailto:mbf.declutsk@gmail.com).

*Viktor SAMOSTIAN*, PhD in Engineering, associate professor of engineering and computer graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: [cymbf@ukr.net](mailto:cymbf@ukr.net).

*Ihor HOLOVACHUK*, PhD in Engineering, associate professor of engineering and computer graphics department, Lutsk National Technical University.

*Valentyn PRYDIUK*, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [pred\\_mbf@gmail.com](mailto:pred_mbf@gmail.com).

*Vitaliy OCSENIUK*, Master of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University.

Стаття надійшла в редакцію 25.04.2018р.