
МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОФІ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

УДК 004.932

М. В. БАРАБАН, О. М. БЕВЗ, В. В. ГАРМАШ

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ КОЛЬОРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ОТРИМАНИХ В УМОВАХ НЕДОСТАТНЬОГО РІВНЯ ОСВІТЛЕННЯ

*Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна
Тел. (0432) 59-80-06, e-mail: baraban87@gmail.com*

Анотація. Запропоновано метод фільтрації цифрових кольорових зображень, отриманих в умовах недостатнього рівня освітлення на основі методу нелокального усереднення (NLM) з урахуванням якісних характеристик зображень. Проведено експериментальне дослідження запропонованого методу на зображеннях з додаванням гаусівського шуму та просторового випадкового шуму. Розроблений метод може бути досить ефективним у зменшенні реального шуму.

Ключові слова: зображення, фільтрація, шум, PSNR, колірний простір, Non-Local Means.

Аннотація. Предложен метод фильтрации цифровых цветных изображений, полученных в условиях недостаточного уровня освещения на основе метода нелокального усреднения (NLM) с учетом качественных характеристик изображений. Проведено экспериментальное исследование предложенного метода на изображениях с добавлением гауссовского шума и пространственного случайного шума. Разработанный метод может быть весьма эффективным в уменьшении реального шума.

Ключевые слова: изображение, фильтрация, шум, PSNR, цветовое пространство, Non-Local Means.

Abstract – The aim of the work presented of the research was to increase the quality of digital color images obtained in low light conditions by improving the Non-Local Means method (NLM) based on image quality characteristics. Many filtering methods have been designed to remove noise from images. Most of them focus on grey value images with additive artificial noise. Only very few specifically target natural color images taken by a digital camera with real noise. But these methods are either too complex or can not solve the problem of reducing noise sufficiently. In addition, most of these methods bring significant distortion in the image. Noise in natural color images have special characteristics that are substantially different from those that have been added artificially. Method «Non-Local Means» for noise filtering in digital color images obtained in a low lighting condition was improved. To improve the method NLM a model of separation color components and modified YCrCb decomposition was used.

An experimental results of the proposed method in images with added Gaussian noise and spatial random noise was presented. The method can be very effective in reducing the real noise.

Keywords: image, filtering, noise, PSNR, color space, Non-Local Means.

ВСТУП

Сучасний період розвитку засобів обробки інформації характеризується масштабним впровадженням різних алгоритмів і технологій інтелектуалізації процесів обробки даних. Одним з важливих компонентів процесу інтелектуалізації інформаційних технологій є все більша необхідність використання інформації, що має форму фото і відео даних, зокрема цифрових зображень, оскільки такі технології найбільш прийнятні і зручні для використання в системах відеоспостереження, автофокусування в фото та відео камерах, медичних приладах тощо. У випадках, коли зйомка проводиться в умовах з недостатньою освітленістю, якість зображень значно знижується через недосконалість фото і відео камер. Тому проблема підвищення ефективності та якості обробки фото і відео зображень є актуальною і

представляє безперечний інтерес. Процес обробки зображень складається з ряду етапів, серед яких одним з найбільш важливих є попередня обробка зображень, яка представляє самостійний інтерес.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Під час отримання зображення в темний час доби його якість суттєво знижується за рахунок того, що різко зростає шум, який призводить до появи зернистості на зображенні. Шум, викликаний підсиленням сигналу, істотно впливає на можливість ущільнення. Сучасні алгоритми компресії сприймають шум як корисну інформацію, від чого ефективність компресії суттєво знижується. Обсяг переданих даних зростає, а відносна кількість інформації при цьому зменшується [1].

Тому важливе місце в ЦОЗ займає задача покращення відношення сигнал/шум, яка зумовлює необхідність попереднього оброблення зображень перед їх класифікацією та аналізом, при розпізнаванні образів і прийнятті рішень.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ

В літературних джерелах існує велика кількість методів фільтрації зображень. Були проаналізовані локальні методи фільтрації: гаусівська модель згладжування, фільтр околів Yaroslavsky та SUSAN (Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus – найменший однорідний сегмент, який асимілюється ядром), білатеральний фільтр; методи, які ґрунтуються на диференційних рівняннях з частковими похідними: модель анізотропної фільтрації, модель повної варіації представлена Rudin, Osher та Fatemi; фільтри в частотній області: жорсткий та м'який трешолдинг, Zhou-Wang вейвлет повна варіація; метод нелокального усереднення (Non-Local Means) [2].

В 2006 році був розроблений метод нелокального усереднення (NLM), що згодом набув популярності [3]. Різниця між цим методом та попередніми адаптивними методами фільтрації у просторовій області полягає в тому, що цей метод не вимагає локальних обмежень. Метод був вдосконалений у роботі [4]. На відміну від попередніх методів фільтрації околів, цей метод використовує схожі схеми, що мають місце в різних частинах зображення і використовує ці схожості для знешумлення.

Нехай $v(i)$ та $u(i)$ будуть досліджуваними зображеннями з шумом та оригінальним зображенням, відповідно, де i – індекс пікселя. Відновлені значення можуть бути отримані як середньозважена величина усіх сірих значень в зображенні (індексовані у множині I)

$$NL(v)(i) = \sum_{j \in I} \omega(i, j) v(j) \quad (1)$$

де $NL(v)(i)$ – відновлені значення в пікселі i . Ваги відображають суму подібності між околами кожної пари пікселів, що беруть участь у розрахунку (i та j)

$$\omega(i, j) = \frac{1}{Z(i)} e^{-\frac{\|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2}{h^2}} \quad (2)$$

де $\| \cdot \|$ – описує зважену відстань Гаусса і $Z(i)$ – нормуючий множник $Z(i) = \sum_j \omega(i, j)$. У наведеному вище рівнянні $v(N_i)$ – вектор значень околу пікселів $v(N_i) := (v(j))$, $j \in N_i$, де N_i визначає окіл пікселя i як стандартний квадратний блок зумовленого розміру навколо i . h – глобальний параметр згладжування, який контролює кількість розмивання, введеного в процес фільтрації.

Подібність між двома пікселями i та j залежить від подібності інтенсивностей сірого рівня векторів $v(N_i)$ та $v(N_j)$. Пікселі з аналогічним околom сірого рівня до $v(N_i)$ в середньому матимуть більшу вагу.

Для обчислення подібності між двома блоками використовується гаусівська зважена Евклідова відстань

$$\|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 = (G_a * |v(N_i) - v(N_j)|^2)(0) \quad (3)$$

У [5] було показано що відстань L^2 – надійний засіб для порівняння вікон зображення. Також цей засіб є більш адаптованим до будь-якого додаткового білого шуму. Дійсно,

$$E\|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 = \|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 + 2\sigma^2 \quad (4)$$

де u і v відповідно оригінальне зображення та зображення з шумом, а σ^2 – шумова дисперсія. Ця рівність показує, що евклідова відстань зберігає порядок подібності між пікселями.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що більшість методів для фільтрації зображень зосереджені на півтонових зображеннях з додаванням штучного шуму. І лише незначна частина призначається для цифрових кольорових зображень з реальним шумом. Але ці методи є або надто складними, або не можуть вирішити проблему зменшення шуму в достатній мірі. Крім того, переважна частина цих методів вносить суттєві спотворення в зображення.

Таким чином, великому різноманіттю областей використання та способів застосування зображень різної природи відповідає значна кількість методів та підходів до оброблення зображень та покращення їх якості, але деякі з них є менш ефективними і стають застарілими в процесі розвитку технологій, їм на зміну приходять новіші й більш ефективні алгоритми, до числа яких відносять білатеральну фільтрацію, вейвлет-перетворення та метод NLM.

Мета роботи: підвищення якості цифрових кольорових зображень, отриманих в умовах недостатнього рівня освітленості шляхом удосконалення методу нелокального усереднення (NLM) з урахуванням якісних характеристик зображень.

МЕТОД NLM НА ОСНОВІ КОЛІРНОЇ МОДЕЛІ РОЗКЛАДАННЯ *modYCrCb*

Для удосконалення методу NLM використаємо модель розділення колірних компонентів [6] та модифіковане *YCrCb* розкладання [7].

Для заданого розкладання триканального кольорового простору $\left(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}\right)$, кольорове зображення:

$$\vec{u}(x) = u_1(x)\vec{i} + u_2(x)\vec{j} + u_3(x)\vec{k} \quad (5)$$

та модель розділення колірних компонентів (МРКК) буде [6]:

$$CR\left(\vec{u}(x)\right) = CR\left(u_1(x)\vec{i} + u_2(x)\vec{j} + u_3(x)\vec{k}\right) = CR_1(u_1(x))\vec{i} + CR_2(u_2(x))\vec{j} + CR_3(u_3(x))\vec{k}, \quad (6)$$

де CR_1 , CR_2 та CR_3 – різні, але кореляційні фільтри визначені на трьох каналах.

Нехай,

$$\vec{u}(x) = u_Y(x)\vec{i} + u_{Cr}(x)\vec{j} + u_{Cb}(x)\vec{k}, \quad (7)$$

де \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – розкладання колірного простору *modYCrCb*.

Тоді,

$$CNL(\vec{u}(x)) = CNL(u_1(x)\vec{i} + u_2(x)\vec{j} + u_3(x)\vec{k}) = CNL_1(u_Y(x))\vec{i} + CNL_2(u_{Cr}(x))\vec{j} + CNL_3(u_{Cb}(x))\vec{k}. \quad (8)$$

Можна відзначити, що для NLM фільтру

$$NL(u)(i) = \sum_{j \in I} w(i, j)u(j), \quad (9)$$

де

$$w(i, j) = \frac{1}{Z(i)} e^{-\frac{\|u(N_i) - u(N_j)\|_{2,a}^2}{h^2}}, \quad (10)$$

Звідки

$$CNL_1(u_Y)(i) = \sum_{j \in I} w_{Y, h_0}(i, j)u_Y(j), \quad (11)$$

$$CNL_2(u_{Cr})(i) = \sum_{j \in I} w_{Y,h_1}(i,j) u_{Cr}(j) \quad (12)$$

$$CNL_3(u_{Cb})(i) = \sum_{j \in I} w_{Y,h_2}(i,j) u_{Cb}(j) \quad (13)$$

де

$$w_{Y,h}(i,j) = \frac{1}{Z(i)} e^{-\frac{\|u_Y(N_i) - u_Y(N_j)\|_{2,a}^2}{h^2}} \quad (14)$$

Таким чином, Y канал має кращу геометричну властивість, яка досить рідко містить шум, тому можна досить незначно використовувати фільтр, шляхом вибору невеликого значення h_0 . Для Cr , Cb каналів, вибираються більші h_1 , h_2 , щоб отримати суттєвий ефект розмиття. З урахуванням того, що в CNL_2 і CNL_3 , ваги були обчислені за допомогою значення сірого в каналі Y , подібність блоків буде визначатися через Y канал, а потім у Cr і Cb каналах.

Необхідно зазначити, що зображення з видаленим шумом, оброблені шляхом оригінального NLM фільтра, можуть мати проблеми з втратою кольору. Причина полягає в тому, що фільтр використовує близькі пікселі в сірих значеннях (як пов'язані пікселі) для зміни зображення (без врахування впливу дистанції близьких пікселів). У [3] розглядається, що найкраща ефективність даного фільтра досягається, коли оброблюються зображення із періодичною структурою, завдяки тому, що для зменшення шуму може бути знайдено багато подібних блоків. Але це призводить до іншої проблеми: для зображень без великої кількості подібних блоків, відбувається згладжування однорідних областей досить непогано, але для областей з маленькими деталями і великою кількістю шуму, ефективність не висока за рахунок занадто великого згладжування. Проте при використанні моделі з розділенням кольорів, ефект незначного розмивання Y каналу збереже достатньо деталей, тоді як значне розмиття в Cr та Cb каналах усуне шум, наскільки це буде можливим.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження методу NLM на основі моделі розділення кольорів використовувались стандартні тестові зображення з бази зображень USC-SIPI Image Database [8]. Для кожного тестового зображення, було побудовано чотири його версії з шумом шляхом додавання гаусівського шуму зі стандартним відхиленням 10, 20, 30 і 40. До зображень застосовувались чотири методи фільтрації. Перший метод – білатеральний фільтр [9] з параметрами: $NLM = 1,8$, $\sigma_r = 2 \times \sigma_n$, і розміром блоку 11×11 . Другий метод – NEW SURE [10]. Третій метод – BLS-GSM (Bayes Least-Squares – Gaussian Scale Mixtures) [11]. Четвертий метод – оригінальний NLM фільтр [3]. П'ятий метод – удосконалений метод NLM на основі моделі розділення кольорів з наступними параметрами: розмір вікна 7×7 ; $h = 0,4\sigma$. Дисперсія шуму σ оцінювалась за медіаною [12]:

$$\sigma_n = \frac{\text{Median}\left(|Y_{ij}|\right)}{0,6745} \quad (15)$$

де Y_{ij} – вейвлет-коефіцієнти субсмути НН1.

Для оцінювання якості зображення після фільтрації використано показник PSNR.

Для досягнення оптимальної роботи у випадках реальних шумів, запропонований метод перевірявся на стандартних тестових зображеннях з бази зображень USC-SIPI Image Database [8], що розмиті просторовим випадковим шумом.

У експериментах просторовий випадковий шум генерується з використанням 2-D синусоїди того ж розміру, що і вхідне зображення, стандартне відхилення шуму в кожному пікселі контролюється амплітудою синусоїди. А саме, генерується 2-D сигнал

$$f(x_1, x_2) = (\sin(x_1/T) \sin(x_2/T) + 1) / 2 \quad (16)$$

де T – період синусоїди.

Для вхідного зображення $I(x_1, x_2)$ зображення з шумом $I(x_1, x_2) + \sigma_d f(x_1, x_2)$. Експеримент проведений на тестових зображеннях для $T = 10$ та $\sigma_d = 15$.

Результати порівняння запропонованого методу з різними методами за критерієм PSNR на зображеннях з додаванням гаусівського шуму та просторового випадкового шуму представлені на рис. 1. Аналізуючи результати, можна зробити висновок про ефективність запропонованого методу для фільтрації зображень з додаванням гаусівського шуму та зображень з додаванням просторового випадкового шуму.

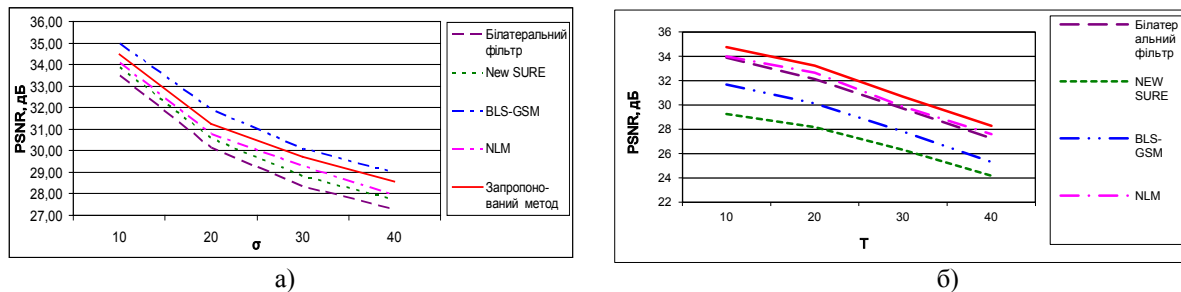


Рис. 1. Результати порівняння між різними методами:
а) на зображеннях з додаванням гаусівського шуму; б) на зображеннях з додаванням просторового випадкового шуму.

ВИСНОВКИ

Удосконалено метод NLM для фільтрації шумів у кольорових цифрових зображеннях за рахунок застосування моделі розділення кольорних компонентів простору $YCrCb$, що дозволило підвищити співвідношення «сигнал/шум» і, в цілому, візуальну якість зображень.

Для фільтрації зображень з додаванням гаусівського шуму запропонований метод за критерієм оцінки якості PSNR в середньому на 1,19 дБ ефективніший, ніж оригінальний білатеральний фільтр і на 0,77 дБ ефективніший, ніж метод NEW SURE, на 0,48 дБ ефективніший ніж оригінальний NLM фільтр. Однак, метод BLS-GSM в середньому виявився ефективнішим на 0,49 дБ, ніж запропонований метод. Це можна пояснити тим, що більшість методів орієнтовані на фільтрацію адитивного гаусівського шуму.

Для фільтрації зображень з додаванням просторового випадкового шуму запропонований метод за критерієм оцінки якості PSNR в середньому на 0,8 дБ ефективніший, ніж оригінальний білатеральний фільтр і на 5,49 дБ ефективніший, ніж метод NEW SURE, на 3,06 дБ ефективніший, ніж метод BLS-GSM, на 0,75 дБ ефективніший, ніж оригінальний NLM фільтр.

Отже, розроблений метод може бути досить ефективним у зменшенні реального шуму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Влaдо Дaмьянoвски. CCTV. Библия видеонаблюдения. Цифровые и сетевые технологии: пер. с англ. / Дaмьянoвски Влaдо; [научн. ред. Стaнислaв Пoзднякoв, Юрй Гeдзбeрг]. – М.: ООО «Ай-Эс-Эс Прeсс», 2006. – 480 с. – ISBN: 5-87049-260-2.
2. Бaрчeнкo К. В. Aнaлiз мeтoдiв фiльтpaцiї зoбpaжeнь / Бaрчeнкo К. В., Бiлoшкурcький С. С., Гaрмaш В. В. // Вiсник Хмeльницькoгo нaцioнaльнoгo унiвeрcитeтy. – 2012. – № 4. – С. 79-86. – ISSN 2226-9150.
3. Buades A. Non-Local algorithm for image denoising / A. Buades, B. Coll, J.-M. Morel // In Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2005. – Vol. 2. – P. 605-611. – ISSN 1063-6919.
4. M. Mahmoudi Fast Image and Video Denoising via Nonlocal Means of Similar Neighborhoods / M. Mahmoudi and G. Sapiro// IEEE Signal Processing Letters 12. – 2005. – P. 79.
5. A. Efros Texture synthesis by non parametric sampling / A. Efros and T. Leung // Proc. Int. Conf. Computer Vision (ICCV 99), Vol. 2, 1991 – P. 1033-1038.
6. Shevchuk V. V. Color image denoising using “chanell method” / Shevchuk V. V. Garmash V. V. // Vdecky pokrok na prelomu tysyachalety – 2011. – P. 3-6. – ISBN 978-966-8736-05-6.
7. Гaрмaш В. В. Мeтoд фiльтpaцiї кoльoрoвих зoбpaжeнь нa oснoвi мoдeлi YCrCb / В. В. Гaрмaш // Вiсник Чeркaськoгo тeхнoлoгiчнoгo унiвeрcитeтy. Сeрiя "Тeхнiчнi нaуки". – 2012. – № 3. – С. 69-73. – ISSN 2306-4412.
8. The USC-SIPI Image Database. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://sipi.usc.edu/database/>.
9. Tomasi C. Bilateral filtering for gray and color images / C. Tomasi, R. Manduchi // in Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India. – 1998. – P. 839 – 846. ISBN 81-7319-221-9.
10. Luisier F. A new sure approach to image denoising: Inter-scale orthonormal wavelet thresholding/

- F. Luisier, T. Blu, M. Unser // IEEE Trans. Image Processing. – 2007. – Vol. 16. – № 3. – P. 593-606. – ISSN 1057-7149.
11. Image denoising using scale mixtures of gaussians in the wavelet domain / J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, E. P. Simoncelli // IEEE Trans. Image Processing. – 2003. – Vol. 12. – № 11. – P. 1338-1351. – ISSN 1057-7149.
12. Chang S. G. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression / S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli // IEEE Trans. Image Processing. – 2000. – Vol. 9. – № 9. – P. 1532-1546. – ISSN 1057-7149.

REFERENCES

1. Vlado Damyanovsky. CCTV Bible of video surveillance. Digital and network technologies: per. from english / Damianovski Vlada; [sci. Ed. Stanislav Pozdnyakov, Yuri Gedzberg]. – M. : LLC AI-ES-Press, 2006 – 480 p. – ISBN: 5-87049-260-2.
2. Barthenko K. V. Analysis of image filtration methods / Barchenko K. V., Biloshursky S. S., Garmash V. V. // Bulletin of the Khmelnytsky National University. – 2012. – No. 4. – P. 79-86. – ISSN 2226-9150.
3. Buades A. Non-Local algorithm for image denoising / A. Buades, B. Coll, J.-M. Morel // In the Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2005 – Vol. 2. – P. 605-611. – ISSN 1063-6919.
4. M. Mahmoudi Fast Image and Video Denoising through Nonlocal Means of Similar Neighborhoods / M. Mahmoudi and G. Sapiro // IEEE Signal Processing Letters 12. – 2005. – P. 79.
5. A. Efros Texture Synthesis by Non Parametric Sampling / A. Efros and T. Leung // Proc. Int. Conf. Computer Vision (ICCV 99), Vol. 2, 1991 – P. 1033-1038.
6. Shevchuk V.V. Color image denoising using "chanell method" / Shevchuk V. V. Garmash V. V. // Vdecky pokrok na prelomu tysyachalety – 2011. – P. 3-6. – ISBN 978-966-8736-05-6.
7. Garmash V. V. The method of filtering color images based on the model YCrCb / V. V. Garmash // Bulletin of Cherkasy Technological University. Series "Technical Sciences". – 2012. – No. 3. – P. 69-73. – ISSN 2306-4412.
8. The USC-SIPI Image Database. [Electronic resource] Access mode: <http://sipi.usc.edu/database/>.
9. Tomasi C. Bilateral filtering for gray and color images / C. Tomasi, R. Manduchi // in Proc. 6th Int. Conf. Computer Vision, New Delhi, India. – 1998. – P. 839-846. ISBN 81-7319-221-9.
10. Luisier F. A new approach to image denoising: Inter-scale orthonormal wavelet thresholding / F. Luisier, T. Blu, M. Unser // IEEE Trans. Image Processing. – 2007 – Vol. 16. – No. 3. – P. 593-606. – ISSN 1057-7149.
11. Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain / J. Portilla, V. Strela, M. J. Wainwright, E. P. Simoncelli, // IEEE Trans. Image Processing. – 2003. – Vol. 12. – No. 11. – P. 1338-1351. – ISSN 1057-7149.
12. Chang S. G. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression / S. G. Chang, B. Yu, M. Vetterli // IEEE Trans. Image Processing. – 2000. – Vol. 9. – No. 9. – P. 1532 – 1546. – ISSN 1057-7149.

Надійшла до редакції 25.10.2017р.

БАРАБАН МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – к.т.н., асистент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

БЕВЗ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ГАРМАШ ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ – к.т.н., старший викладач кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.