

ТЕХНОЛОГІЯ ЛАЗЕРНОГО КОЛЬОРОВОГО МАРКУВАННЯ СТАЛЕЙ

Афанасьєва О.В., Харківський національний університет радіоелектроніки,
Лалазарова Н.О., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Проведене кольорове маркування корозійно-стійкої сталі за допомогою лазерів різних типів. В основі кольорового маркування металів лежить процес утворення на поверхні зразка плівок з оксидів оброблюваного матеріалу під впливом лазерного випромінювання. Встановлено, що повнокольорове маркування може бути отримано тільки за допомогою волоконного лазера. На основі попередніх розрахунків температурно-часових параметрів випромінювання та проведених експериментів встановлено, що колір маркування визначається в основному кількістю імпульсів в точку.

Ключові слова: кольорове лазерне маркування, лазерне гравірування, імпульсне лазерне випромінювання, твердотільний лазер, волоконний лазер, частота проходження імпульсів.

Вступ

Лазерне маркування являє собою нанесення текстових і графічних зображень на поверхню виробу під впливом високоінтенсивного лазерного випромінювання. Маркування деталей, вузлів або кінцевого виробу дозволяє виробнику контролювати обсяг продукції, що випускається, контролювати якість і просувати свою торгову марку. Кінцевий користувач отримує на маркірованому виробі інформацію про тип і параметри продукції і гарантію якості від виробника. З існуючих способів маркування найбільш сучасним і гнучким методом є лазерне маркування, бо воно дозволяє управляти лазерним випромінюванням, точно дозуючи енергію для маркування в просторі і в часі. Лазерні системи дозволяють отримати довговічне, зносостійке, термостійке, стійке до хімічних і механічних впливів, захищене від подрібнок маркування.

Аналіз публікацій

Лазерне маркування відрізняється високим рівнем якості, точності, чіткості, високою швидкістю нанесення, не впливає на властивості продукції, що маркірується, і здійснюється якісно, точно і швидко. Останнім часом інтерес до лазерного маркування пов'язаний також з виготовленням різної суверенної продукції [1, 2].

Існує чотири типи лазерного впливу на поверхню оброблюваного матеріалу: гравірування поверхні видаленням матеріалу, створення колірного поверхневого контрасту, опалвлення поверхні, гравірування з опалвленням (рис. 1).

При гравіруванні під дією сфокусованого випромінювання видаляється частина мате-

ріалу - до 100 мкм при звичайному маркуванні, до 0,5 мм при художньому гравіруванні або 3,5 мм при глибокому гравіруванні.

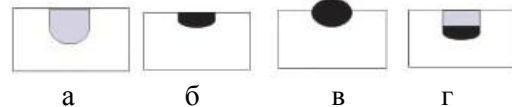


Рис. 1. Типи впливу лазерного випромінювання на поверхню оброблюваного матеріалу: а – гравірування поверхні видаленням матеріалу, б – поверхневий контраст, в – опалвлення поверхні, г – гравірування з опалвленням.

Маркування стає добре видимим, оскільки падаюче світло розсіюється в каналах поруч з немаркованим матеріалом. Технологія отримала широке застосування у всіх галузях виробництва. У мікроелектроніці воно застосовується для маркування заготовок, виробів і оснащення на всіх стадіях розробки і виробництва, наприклад, для кремнієвих пластин [1]. Гравірування найчастіше наносять на метал (зазвичай на вироби з вуглецевої і нержавіючої сталі), кераміку, оргскло і акрил.

Поверхневий кольоровий контраст в неметалевих матеріалах виникає при фотохімічному впливі на поверхню матеріалу, що маркується. Цей вид маркування застосовується в основному для неметалів, які знебарвлюються під дією УФ-випромінювання.

В основі кольорового маркування металів лежить процес утворення на поверхні зразка плівок з оксидів і нітридів оброблюваного матеріалу під впливом лазерного випромінювання. Оксидні плівки формуються при лазерній обробці на відкритому повітрі. Для отримання нітридних плівок метали оброб-

ляють у спеціальній камері з піддувом азоту. В обох випадках колір плівки залежить від її хімічного складу і товщини. На практиці частіше створюють оксидні плівки, так як це не вимагає спеціального технологічного оснащення для азотування.

Оксидні плівки формуються в результаті однорідного нагрівання поверхні металу, що стимулює процес його окислення. Такий метод широко застосовується ще з давніх часів в металургії для художньої та промислової обробки металевих виробів. Однак лазерна технологія отримання кольорових оксидних плівок має ряд значних переваг, в тому числі швидкість, локальність впливу і високу точність обробки. Це досягається завдяки малому (десятки мікрометрів) діаметру лазерного променя і застосуванню високоточних швидкісних систем сканування.

Поява кольору і його зміна обумовлені інтерференцією світла, яке виникає в результаті складання хвиль, що відбиваються від поверхневого шару оксидної плівки і поверхні самого металу. При цьому в міру зростання товщини оксиду послідовно виникають умови гасіння променів з тією чи іншою довжиною хвилі, в результаті чого колір плівки може змінюватися від фіолетового до червоного. Однак на колір плівки впливає також і ступінь шорсткості поверхні металу.

При маркуванні плавленням матеріал досягає температури плавлення і через хімічний розпад, ефекти окислення або зміну в поверхневій морфології виникає видиме маркування. Цей метод не часто застосовується при маркуванні металевих поверхонь через низький контраст.

Гравірування поверхні з оплавленням – комбінація видалення матеріалу з оплавленням, яке зосереджується в основі гравірованого каналу.

Мета і постановка задачі

Метою дослідження є розробка режимів кольорового лазерного маркування (поверхневий кольоровий контраст) корозійностійкої сталі за допомогою лазерів різних типів. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі: 1) провести розрахунки температурно-часових параметрів випромінювання при використанні лазерів різних типів; 2) вивчити вплив параметрів лазерного випромінювання на колір поверхні сталі; 3) розробити режими кольорового маркування сталі волоконним лазером.

Розробка технології лазерного кольорового маркування сталей

Основними параметрами, що характеризують лазерне випромінювання, є потужність, довжина хвилі випромінювання, тривалість впливу випромінювання, енергія і частота проходження імпульсів, а також когерентність, спрямованість, монохроматичність і поляризація випромінювання.

Більшість лазерних технологій базується на тепловій дії випромінювання, тобто мається на увазі необхідність нагрівання об'єкта впливу до заданої температури. Тому головною характеристикою лазера, який використовується в таких технологіях, є його потужність. Для імпульсних лазерів розглядають потужність в імпульсі і середню потужність, яка залежить від тривалості та частоти проходження імпульсів.

В якості змінних параметрів в даній роботі обрано довжину хвилі випромінювання, яка визначається типом лазера, потужність випромінювання та тривалість лазерного впливу, що залежить від тривалості імпульсів, частоти їх проходження та швидкості переміщення лазерного випромінювання по поверхні оброблюваного матеріалу.

В даний час в технологічних цілях використовуються три типи лазерів: газові, твердотільні і волоконні. Газові CO₂-лазери потужністю понад 1 кВт, надійні в експлуатації, з автоматизованою системою управління технологічного комплексу, широко застосовуються для різних технологічних операцій, в тому числі для маркування. Однак висока вартість таких комплексів і їх низька продуктивність при обробці металів обмежують застосування таких лазерів [3, 4]. Твердотільні лазери, в першу чергу на алюмо-ітрієвому гранаті (Nd³⁺:YAG-лазери), мають у порівнянні з газовими ряд переваг. Вони більш компактні, мають більш високі значення коефіцієнта корисної дії. Одночасно з цим YAG-лазери є більш дорогими і вимагають великих експлуатаційних витрат. Для маркування використовуються YAG-лазери, що працюють як в безперервному, так і в імпульсному режимі.

На сьогоднішній день найбільш перспективними технологічними інструментами є волоконні лазери. До числа переваг волоконних лазерів слід віднести високу ефективність (до 50%), що веде до більш низьких експлуатаційних витрат; невеликі розміри

дозволяють легко вбудовувати їх в існуючі системи виробництва.

В даній роботі дослідження проводились саме на цих типах лазерів, на установках: Trotec 8003 Speedy C40 на базі CO₂-лазера ($\lambda = 10,6\text{мкм}$, середня потужність у безперервному режимі до 20 Вт), JQ-YAG-50 на основі Nd:YAG лазера ($\lambda = 1,06\text{мкм}$, середня потужність до 50 Вт), МініМаркер2 на основі ітербієвого волоконного лазера ($\lambda = 1,03\text{мкм}$, середня потужність до 20 Вт).

Лазерне кольорове маркування можна створити на металі, здатному до окислення, тобто на будь-якому металі чи сплаві, за винятком золота та металів платинової групи. Оксидна плівка, утворена при лазерному нагріванні на поверхні активних металів, є нестійкою і з часом тьмяніє за рахунок подальшого атмосферного окислення.

Якісне і стійке кольорове маркування можна одержати лише на металах, що пасивуються, тобто на таких, що мають свою щільну оксидну плівку, наприклад, на нержавіючій сталі, алюмінії, титані і їх сплавах. У даній роботі в якості матеріалу для дослідження була обрана корозійно-стійка сталь марки 12X18H10T після електрополірування (стан поставки). Сталь 12X18H10T – нержавіюча титаномістка сталь аустенітного класу. Хімічний склад цієї сталі регламентований ГОСТ 5632-72.

При нагріванні матеріалу до певних температур на його поверхні утворюються оксидні шари різної товщини. Залежно від товщини шару виникають умови поглинання променів з тією чи іншою довжиною хвилі. Внаслідок цього можна спостерігати кольори мінливості на поверхні металу. Залежно від температури нагрівання матеріалу змінюються і параметри оксидних шарів, отже, змінюється і колір поверхні.

Для теоретичного розрахунку параметрів лазерного випромінювання необхідно знати залежність кольору від температури нагріву поверхні. Для цього був проведений експеримент, в ході якого зразки з корозійно-стійкої сталі нагрівалися в лабораторній термічній печі СНОЛ/11 при температурах від 300 до 700 °С з інтервалом 50 °С. Після фотографування зразків була складена шкала залежності кольору від температури (рис. 2).

Для подальших досліджень було обрано температури 400, 500, 600 і 650 °С, тому що при цих температурах вийшли більш насичені кольори.

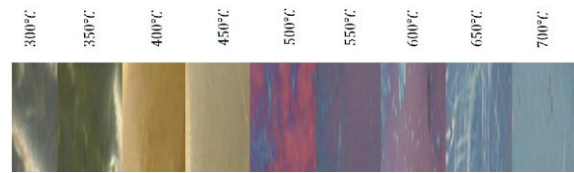


Рис. 2. Шкала залежності кольору від температури

Далі необхідно було провести підбір параметрів лазерного випромінювання таким чином, щоб поверхня матеріалу нагрівалася саме цих температур, так як зміни навіть на 20°С може змінити колір. Попередній розрахунок температурно-часових параметрів випромінювання проводився за рекомендаціями [5].

Згідно із розрахунками, для досягнення поставленої мети потужність випромінювання повинна бути 16,5-20 Вт у безперервному режимі. Провести точний розрахунок потужності та тривалості впливу неможливо, так як формули не враховують товщину матеріалу, зміну поглинальної здатності матеріалу в процесі обробки, можливість обробки у декілька проходів. Тому точний підбір параметрів лазерного випромінювання проводився експериментальним шляхом.

Дослідження показали, що використання CO₂-лазера недоцільно не тільки для створення кольорового маркування, а й для гравірування. Оброблені ділянки мали вигляд гравірування з оплавленням і обуглюванням. Слід зазначити, що випромінювання CO₂-лазерів набагато важче піддається тимчасовому і просторовому перетворенню, ніж випромінювання твердотільних лазерів [3]. Це значно ускладнює застосування CO₂-лазерів в імпульсному режимі для лазерного маркування.

В результаті експериментів із застосуванням Nd:YAG-лазера було отримано поєднання гравірування з частковим кольоровим контрастом. Жоден з досліджених режимів не дозволив отримати повнокольорового маркування – на всіх зразках оксидні плівки були сіро-чорного кольору різної насиченості, іноді із блакитним відтінком, оброблена поверхня мала явно виражений рельєф. На рис. 3 наведений вигляд поверхні, обробленої при середній потужності 17 Вт і швидкості обробки 5 мм/с. Частота проходження імпульсів змінювалась від 20 (зразок 1) до 2 (зразок 2) кГц.

Встановлено, що зменшення частоти робить рельєф поверхні грубішим, а зображення стає більш темним. В цілому ці зміни незначні і не дозволяють сподіватися на створення кольорового зображення.

На рис. 4 представлено вплив швидкості обробки при частоті проходження імпульсів 12 кГц (рядок 1), 18 кГц (2) та 20 кГц (3). В кожному рядку швидкість обробки зростала від 10 до 60 мм/с. Як видно, швидкість сканування також незначно впливає на результат обробки.

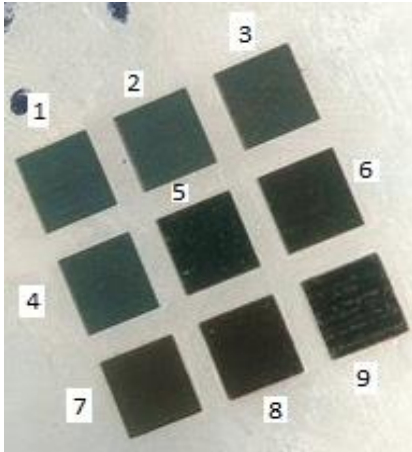


Рис. 3. Вплив частоти проходження імпульсів на колір та рельєф поверхні

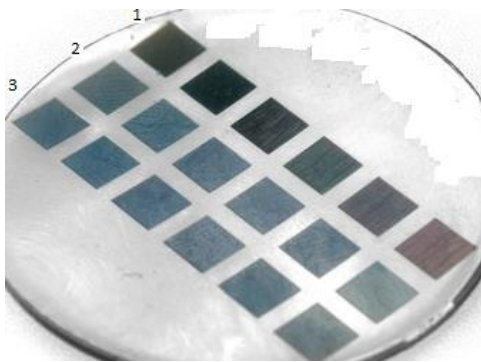


Рис. 4. Вплив швидкості сканування на колір та рельєф поверхні

Після фотографування зразків був отриманий код кольору в графічному редакторі CorelDRAW. В подальшому може бути розроблена таблиця залежності коду кольору від параметрів випромінювання, після чого дане маркування можна використовувати як у виробництві (штрих-коди, серійні номери і т.д.), так і для декоративної продукції (створення різних монохроматичних орнаментів і рисунків).

Порівняння рельєфа зразків, оброблених за різними режимами (рис. 5), свідчить, що зміна параметрів в досліджених межах не дозволяє одержати кольорове зображення за допомогою гравірувальної установки на базі Nd:YAG-лазера. Водночас результати цих досліджень можуть бути використані при гравіруванні монохромних зображень.

Отримати кольорове маркування вдалося тільки за допомогою волоконного лазера (рис. 6). Особливості конструкції установки МініМаркер2 на основі ітербієвого волоконного лазера дозволяли проводити обробку при постійних параметрах (потужність 20 Вт, частота проходження імпульсів 20 кГц), змінюючи число імпульсів в точку. Подаючи 5, 10 і 20 імпульсів в точку, вдалося отримати жовтий, червоний і синьо-сірий кольори відповідно без зміни шорсткості поверхні.

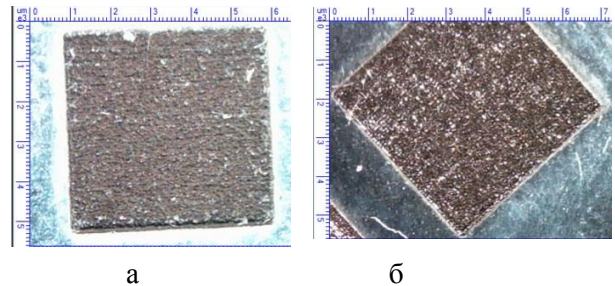


Рис. 5. Рельєф поверхні при різних режимах обробки: а – частота проходження імпульсів 4 кГц, швидкість обробки 5 мм/с, б – частота проходження імпульсів 12 кГц, швидкість обробки 20 мм/с

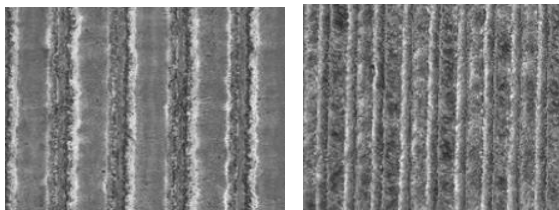


Рис. 6. Залежність кольору поверхні від кількості імпульсів: а – 5 імпульсів, б – 10, в – 15 імпульсів в точку

Отримані кольори згідно зі шкалою залежності кольору від температури, відповідають температурам 400, 500 і 700 °С. Відомо, що колір оксидної плівки залежить в основному від температури поверхні і хімічного складу матеріалу. У методиці визначення температури поверхні при імпульсній обробці, наведеній в [4], довжина хвилі випромінювання враховується опосередковано – вона впливає на поглинальну здатність матері-

алу. Можна було б припустити, що при близьких значеннях довжин хвиль випромінювання твердотільного і волоконного лазерів можуть бути отримані однакові результати. Однак волоконні лазери мають більш високу якість пучка M^2 , що і дозволило отримати в процесі багатоімпульсної обробки різні кольори.

Важливою характеристикою обробки є також інтервал сканування, який визначає відстань між лініями обробки, так зване розділення зображення. На рис. 7,а показаний результат лазерної обробки при скануванні металевієї поверхні з роздільною здатністю 20 ліній/мм. У цьому випадку рисунок кожної лінії створюється незалежно від інших і підсумкове зображення формується послідовно лінія за лінією. Для створення півки однорідного кольору товщина лінії повинна варіюватися в межах від 20 до 50 мкм. На цьому зображенні, отриманому за допомогою скануючого електронного мікроскопа, між лініями сканування видно поверхню вихідного матеріалу, однак неозброєним оком вона непомітна.



а б

Рис. 7. Лазерне кольорове маркування з розділенням 20 (а) і 30 ліній/мм (б)

При лазерній обробці можливий такий режим сканування, при якому буде відбуватися перекриття ліній руху пучка лазера (рис. 7, б). В даному випадку розділення складає 30 ліній/мм. Оксидний шар формується за рахунок акумуляції енергії сусідніх ліній. Оригінального матеріалу між лініями в цьому випадку не залишається, тому колір обробленої поверхні має більшу однорідність, ніж при скануванні з роздільною здатністю 20 ліній/мм. Однак при використанні даного методу крайні лінії в сформованому таким чином зображенні відрізняються за кольором від інших, так як кількість одержуваної ними енергії відмінна від кількості енергії, що припадає на решту площі обробленої лазером поверхні.

Висновки

1. Дослідження показали, що використання CO_2 -лазера недоцільно не тільки для створення кольорового маркування, а й для гравірування.

2. В результаті експериментів із застосуванням Nd:YAG-лазера було отримано поєднання гравірування з частковим кольоровим контрастом.

3. Твердотільний Nd:YAG-лазер може використовуватися для гравірування на поверхні металу і одержання монохромних зображень на сувенірній продукції.

4. Повнокольорове лазерне маркування може бути одержано тільки за допомогою волоконного лазера.

5. Колір маркування визначається в основному кількістю імпульсів в точку.

Література

1. Вейко В.П. Лазерные технологии в микроэлектронике / В.П. Вейко, С.М. Метев. – София: Изд-во Болг. АН, 1990. – 361 с.
2. Горный С.Г. Лазерная маркировка. В кн. Лазерная технология и ее применение в металлообработке / С.Г. Горный, И.Р. Емельченков. – Л.: ЛДНТП, 1990. – С. 42–47.
3. Веденов А.А. Физические процессы при лазерной обработке материалов / А.А. Веденов, Г.Г. Гладуш. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 208 с.
4. C.Emmelmann. Introduction to Industrial Laser Materials Processing. – Rofin-Sinar, Hamburg, 1998, p.180.
5. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.

References

1. Veyko V.P., Metev S.M. Lazernyie tehnologii v mikro-elektronike [Laser technology in microelectronics], Sofia: Bulgarian Publishing House. AN, 1990, 361 p. (In Russian).
2. Gorniy S.G., Emelchenkov I.R. Lazernaya markirovka. V kn.: Lazernaya tehnologiya i ee primeneniye v metalloobrabotke [Laser marking. In the book: Laser technology and its application in metal processing], Leningrad, LDNTP, 1990, pp. 42-47 (In Russian).
3. Vedenov A.A., Gladush G.G. Fizicheskie protsessy pri lazernoy obrabotke materialov [Physical processes in laser processing of materials], Moscow, Energoatomizdat, 1985, 208 p. (In Russian).
4. C.Emmelmann. Introduction to Industrial Laser Materials Processing. – Rofin-Sinar, Hamburg, 1998, p.180.
5. Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I.; Pod red. Grigoryantsa A.G. Tehnologicheskie protsessy lazernoy obrabotki [Laser Processing

Technological Processes], Moscow, High school, 1988, 159 p. (In Russian).

Афанасьєва Ольга Валентинівна, к.т.н., доцент кафедри фізичних основ електронної техніки, тел. (+38) 096-525-62-35, e-mail: 7584839@ukr.net, Харківський національний університет радіоелектроніки, 14, пр. Науки, м. Харків, 61166, Україна.

Лалазарова Наталія Олексіївна, к. т. н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (+057) 707-37-92, e-mail: la-laz1932@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

Laser color marking technology for steels

Abstract. Problem. Perform color marking of steel while maintaining surface quality with lasers of various types. The basis of the color marking of metals is the process of formation on the surface of the sample films of the oxides and nitrides of the material under the influence of laser radiation. The color of the film depends on its chemical composition and thickness. **Goal.** Development of modes of color laser marking of steel with the help of lasers of different types. **Method.** Color marking of corrosion-resistant steel was performed using a CO₂ laser, solid-state and fiber lasers. **Results.** The effect of laser radiation parameters on the surface color was studied. Studies have shown that full-color marking can only be done with a fiber laser. On the basis of preliminary calculations of the temperature-time parameters of radiation and the experiments performed, it is established that the color of the marking is determined mainly by the number of pulses per point. **Scientific novelty.** Modes of color marking of steel with a fiber laser with preservation of surface roughness are developed. **Practical significance.** It can be used in microelectronics for marking workpieces, products and equipment at all stages of development and production.

Key words: color laser marking, laser engraving, pulse laser radiation, solid solid laser, fiber laser, pulse frequency.

Afanasyeva O., PhD, Associate Professor, Physical Foundations of Electronic Engineering Department, tel. (+38) 096-525-62-35, e-mail: 7584839@ukr.net, 14, Science Avenue, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine.

Lalazarova N. PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel. (057) 707-37-92, e-mail: lalaz1932@gmail.com, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Технология лазерной цветной маркировки сталей

Аннотация. Проведена цветная маркировка коррозионно-стойкой стали с помощью лазеров

различных типов. В основе цветной маркировки металлов лежит процесс образования на поверхности образца пленок из оксидов обрабатываемого материала под воздействием лазерного излучения. Установлено, что полноцветная маркировка может быть получена только с помощью волоконного лазера. На основе предварительных расчетов температурно-временных параметров излучения и проведенных экспериментов установлено, что цвет маркировки определяется в основном количеством импульсов в точку.

Ключевые слова: цветная лазерная маркировка, лазерная гравировка, импульсное лазерное излучение, твердотельный лазер, волоконный лазер, частота следования импульсов.

Афанасьєва Ольга Валентиновна, к.т.н., доцент кафедри основ електронної техніки, тел. (+38) 096-525-62-35, e-mail: 7584839@ukr.net, Харківський національний університет радіоелектроніки, 14, пр. Науки, м. Харків, 61166, Україна.

Лалазарова Наталія Алексєєвна, к. т. н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (057) 707-37-92, e-mail: la-laz1932@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, г. Харків, 61002, Україна.