

УДК 528.32:504.76.312

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.3>**Казаченко Л.М.**

к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

**Казаченко В.А.**

аспірант кафедри міського будівництва Навчально-наукового інституту підготовки кадрів  
вищої кваліфікації,  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

**Лобко-Зампасі М.**

асистент кафедри образотворчого мистецтва і дизайну,  
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

**Казаченко Д.А.**

викладач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

## ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВІДБУДОВИ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД У ПІСЛЯВОЄННІ ЧАСИ РОБОТОМ-3D-ПРИНТЕРОМ

**Анотація.** Відновлення територій, що постраждали від військових дій РФ, що ров'язала війну в Україні потрібно дуже швидко. За часи військового вторгнення дуже велика кількість житлових будинків України зруйнована повністю або частково. Місто Харків є одним з найбільш постраждалих міст в ході цієї війни, тому потрібна швидка, якісна відбудова. Відновити зруйновані війною з РФ будівлі, які мають історичну цінність, реконструювати зруйновані житлові будинки і нежитлові будівлі і споруди для повернення жителів в нашу країну і зберегти історичну цінність стародавнім будівлям і спорудам центральної частини міста Харкова. Зараз в час новітніх технологій, коли виробничі процеси виконують роботизовані механізми, на ринку будівельної галузі з'явилися 3-D принтери, які роботу виконують точно, швидко, якісно і мінімальною кількістю працівників. Відбудова зруйнованих будинків за допомогою робота-3-D принтера є можливим вирішенням проблеми. Автоматизація процесу та швидкість будівництва є безумовними пріоритетами у порівнянні з іншими способами будування. Будівельний робот-3D-принтер являє собою будівельну машину об'ємного друку, яка діє автоматизовано за допомогою програмного забезпечення через керування пультом за заданим маршрутом, тобто при підключенні до джерел електропостачання, буквально на голому місці може створити готову запроєктовану в програмі будівлю за наявністю невеликої кількості будівельних матеріалів – цементу марки М 500, піску, скловолокна та 2–3 працівників будівельної галузі, які керують процесом. Ці будинки буквально друкує робот-3D-принтер, який встановлюється на будівельному майданчику за 3–5 діб, причому заповнює рідкою швидко застигаючою речовиною не тільки зовнішні стіни будинку, а й одночасно міжкімнатні стіни та пройоми. Робот-3D-принтер може друкувати будь які будівельні форми – не тільки рівні, а й округлі стіни, що може допомогти відновити зруйновані історичні будівлі в центральній частині міста. Рідина, яка застигає майже не потребує внутрішніх штукатурних оздоблювальних будівельних робіт, є стійкою, міцною та теплою. Побудовані за допомогою робота-3D-принтера будинки є не дорогими і доступними. Це може швидко вирішити проблему відновлення та відбудови зруйнованих будівель як одно поверхових садибного типу, а й інших будинків.

**Ключові слова:** відновлення зруйнованих будинків, роботизація і автоматизація процесу, робот-3-D принтер, бетонна суміш.

**Постановка проблеми.** У післявоєнні часи потрібно швидка та якісна відбудова зруйнованих будинків, нежитлових будівель і споруд. Міста і містечка України зазнали значних руйнувань у ході повномасштабного вторгнення РФ. Місто Харків є одним з найбільш постраждалих міст в ході цієї війни. Більше половини усіх випущених по Україні ракет припадає саме на місто Харків. Руйнування зазнали як житлові будинки, так і освітні, медичні, комерційні заклади. Зруйнована інженерна інфраструктура, лінійні інженерні споруди.

Місто Харків вважається першою столицею України, притаманна архітектурна витонченість старовинних будівель прикрашала раніше наше місто. Велич в архітектурних ансамблях в центральній частині побудованих старовинних будинків поєднуються стилі класицизму та готики, бароко та модерну поряд із сучасною забудовою. Нажаль зараз із-за військових дій з боку РФ дуже багато старовинних будівель втрачено назавжди (рис. 1).

Також багато сучасних житлових багатоквартирних будинків повністю або частково зруйнованих і часто не підлягають реставрації. Тому потрібно рішення щодо відновлення архітектурної краси центральної частини міста та зруйнованої житлової забудови спальних районів. Потрібне непросте, але швидке рішення щодо відновлення зруйнованих територій м. Харкова та інших міст і містечок України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Законодавчій базі України, зокрема [1–3] визначені поняття будівництво – нове будівництво, реконструкція, реставрація, капітальний ремонт об'єкта будівництва. Тобто згідно цього Закону України нове будівництво будівель і споруд або його реконструкція повинно здійснюватися за визначеними правилами і нормами. Є безліч прийнятих ДБН, ДСТУ, які визначають правила будівництва, методи і методологію. Існуючі методи забудови, прийняті в нашій країні потребують багато зусиль, матеріалів, спеціалістів будівельної галузі. Потрібні нові рішення та нові технології [4].

**Мета роботи.** Метою роботи було віднайти нові методи та технології у галузі будівництва, які б допомогли вирішити ряд проблем – відновити зруйновані війною з РФ будівлі, які мають історичну цінність, реконструювати зруйновані житлові будинки і нежитлові будівлі і споруди для повернення жителів і зберегти історичну цінність стародавнім будівлям і спорудам центральної частини міста Харкова.

**Результат дослідження.** Для відновлення стародавніх будівель і споруд, які мають історичну цінність і частково зруйновані військовими діями РФ на території України потрібні термінові дії щодо здійснення забудови або реконструкції. Існуючі методи будівництва потребують проекту реконструкції, великих прорахунків щодо матеріалів, працівників будівельної галузі, транспортних витрат і дуже багато часу. Але є нові методи будівництва, які не потребують багато зусиль, матеріалів, часу і велику кількість будівельників. Такі методи називають надсучасними – автоматизованими та роботизованими, тобто роботи

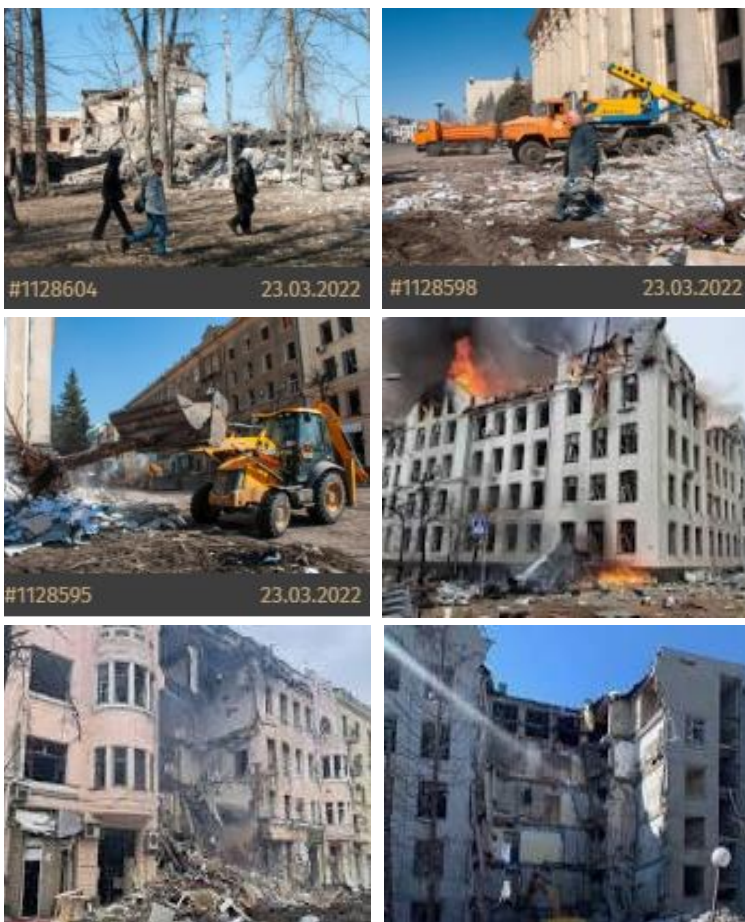


Рис. 1. Зруйновані будинки і споруди м. Харків на 23.03.2022

здійснюють будівництво за допомогою керування спеціалістів будівельної галузі. Такі технології як будівництво за допомогою 3-D-принтера є можливим вирішенням проблеми. Автоматизація процесу та швидкість будівництва є безумовними пріоритетами у порівнянні з іншими способами будування.

Будівельний робот-3D-принтер являє собою будівельну машину об'ємного друку, яка діє автоматизовано за допомогою програмного забезпечення через керування пультом за заданим маршрутом, тобто при підключенні до джерел електропостачання, буквально на голому місці може створити готову запроектовану будівлю.

Будівельний робот-3D-принтер має вигляд гігантського, що збирається на місці будівництва принтера за типом мостового крана і має сопло або екструдер і видавлює з нього суміш, яка швидко твердіє і перетворюється на міцний будівельний матеріал. Багато питань викликає безпосередньо технологія такого будівництва за допомогою роботу-3D-принтеру. По-перше, як на міцність конструкції будуть впливати шви, які виникають у при таких методах побудови через кожні три-п'ять сантиметрів. По-друге, існуючий процес укладання арматури має спірні питання – при підвищеній вологості повітря залізна арматура дає корозію, яка руйнує бетонні конструкції розтріскуванням і осипанням. Китайські будівельники армують склопластиковою сіткою, що дає ряд переваг – здешевлює процес і зміцнює будівлю.



Рис. 2. Склеювання та прокладення пластикових сіток між 2 панелями

Таблиця 1 Характеристика робота-3D-принтера

№ п.п	Найменування складових	Характеристика
1	Тип роботизованого виробу	Будівельний робот-3D-принтер
2	Призначення	Друк будівель і окремих елементів до 110 м <sup>2</sup>
3	Тип електроприводу	Крокові електродвигуни з циліндричними редукторами
4	Робоча швидкість	9 м/хв
5	Величина робочої зони	10×11×2,7 м
6	Комплектація	Робот – принтер, моноблок, промислова клавіатура, шафа управління
7	Швидкість позиціонування	12 м/хв
8	Точність позиціонування	2 мм
9	Потужність споживання електроенергії	3.5 кВт
10	Розмір друкованого шару:	
	висота	10 мм
	ширина	30 мм
11	Витрата бетону м <sup>3</sup> на 1 м <sup>2</sup> стіни при 4-х шаровому друку	0.12 м <sup>3</sup>

Існує два види конструкцій будівельного робота-3D-принтера у вигляді козлового крана та у вигляді стріли-маніпулятора.

До комплектації будівельного роботу – 3D-принтера входить моноблок, промислова клавіатура, шафа управління Поверхня, на якій в автоматизованому режимі створюється об'ємні будівельні вироби, називається робочою зоною і має розміри, що задаються параметрами величини ходу сопла (рис. 3).

Завдяки роботу-3D-принтеру без ручної праці спеціалістів будівельної справи можна створювати не тільки будинки і великогабаритні об'єкти різних форм, як то круглих і хвилеподібних (рис. 4).

Це можна застосувати при реконструкції зруйнованих історичних будівель, надрукуючи як окремі архітектурні оздоблювальні елементи так і стіни будинку в цілому.



Рис. 3. Робот-3D-принтер типу козлового крану



Рис. 4. Створений будинок круглої форми роботом-3D-принтером

Управління роботом-3D-принтером здійснюється через програмне забезпечення ArtSoft **Mach3**, де можна задавати всі необхідні параметри, координати точок X, Y, Z і налаштування для здійснення будови будинків (рис. 5).

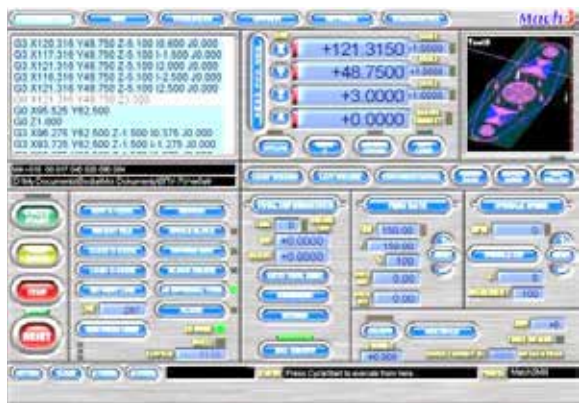


Рис. 5. Панель керування ArtSoft **Mach3** роботом-3D-принтером

Група вчених британського Університету Лафборо під керівництвом доктора Сунгву Ліма з (Loughborough University), надрукували першу в світі порожнисту панель з подвійними закругленими контурами. На такому ж принципі побудовані 3D-принтери китайської компанії Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co, яка першою надрукувала серію справжніх будинків на початку 2014 року.

На рис. 5 представлені 3-D-принтери у вигляді стріли-маніпулятора



Рис. 6. Робот-3D-принтер

Відомо про три способи створення об'ємної конструкції:

1. Метод пошарового заповнення (екструдуння) в'язкою робочою сумішю;
2. Метод спікання або селективного спікання – при високих температурах;
3. Метод наплення або компонентна склейка (стереолітографія)

Перший метод характеризується тим, що – з робочого «сопла» робота-3D-принтера видавлюється, подібно зубній пасті з тюбика, сметаноподібна суміш бетону з добавками.

При другому способі в робочій зоні робота 3D-принтера відбувається розплавлення робочої суміші, причому плавлення досягається під час будівництва, сконцентрованим лазером або сонячним променем, а робочою сумішшю виступає звичайний пісок.

При третьому способі з робочого сопла виходить струмінь піску, який змішується з клейовими складовими – каталізатором, утворюючи об'єми в програмно заданій точці.

Методи спікання і напилення, є найновітнішими, оскільки для роботи 3D-принтера використовується сонячна енергія та екологічно чисті складові суміші – пісок, який з розплавленого стану перетворюється в склоподібну масу, тобто будинок із скла. Ці два методи роблять житло, побудоване роботом – принтером майже безоплатним.

З перерахованих 3 способів формування будівельного об'єму роботом-3D-принтером, увагу будівельників приваблює перший метод шарового пресування, оскільки він практично себе показав – на сьогоднішній день створені досить великі несучі поверхні і справжні будинки.

Завдяки роботі-3D-принтеру без особливих зусиль ручної праці можна створювати не тільки будинки і великогабаритні об'єкти, а також ексклюзивні ландшафтні вироби, будь-які споруди і частини вуличного інтер'єру. Завдяки структурній формі друкування 3D-принтера можна не оздоблювати будинки, дизайн випуклих форм є цікавим і сучасним (рис. 7).



Рис. 7. Дизайн всередині будівлі округлої форми

Ця нова концепція будівництва за допомогою роботом-3D-принтером все ще знаходиться в експериментальній фазі, але вона показує тільки те, що ми можемо досягти використовуючи найновітні технології і робо-

тизовані системи будівництва, що здешевлює, спрощує, дає перевагу у термінах будівництва будівель і споруд. В галузі біоенергетики, вловлюючи викиди від електростанцій можна перетворювати їх в друкований запас – цей безкоштовний матеріал для робота-3D-принтера, який можливо використовувати для заміни цементу, який має свої власні негативні екологічні викиди та тиск на довкілля. Тому масове будівництво підприємств з переробки будівельних відходів та сміття, буде мати можливість отримання безкоштовного матеріалу, який буде використовуватися при підготовці робочої суміші для робота-3D-принтера для побудови будівель і споруд.



Рис. 8. Будівля роботизованих систем будівництва

Так само поширеність вітрових, сонячних і біоелектростанцій, дає змогу припустити, що на звалищах будівельного сміття будуть встановлені гігантські подрібнювачі будівельного сміття, що живляться електроенергією від найближчої біоелектростанції. Побудовані будинки за допомогою робота-3D-принтера з матеріалу суміші будівельного сміття, бетону і добавок, являє собою недороге швидко побудоване житло або підприємства.

Для будівельних робіт роботом-3D-принтером використовують цемент марки М 500, скловолокно, просіяний річний пісок це ті будівельні матеріали, які були перевірені часом і довели свою стійкість до будь-яких погодних умов. Це не дорогі і доступні будівельні матеріали, що є у будь-якій місцевості. Для здійснення будівництва – друкування роботом-3D-принтером спочатку готують будівельний розчин. Після чого, за допомогою робота-3D-принтера цей розчин видавлюється через спеціальні сопла і наноситься на підставу шар за шаром (рис. 9)



Рис. 9. Побудований будинок роботом-3D-принтером

Горизонтальне армування робиться під час друку, а вертикальне після, потім заливається бетонною сумішшю. Таким чином, можна звести стіни невеликого будинку всього за декілька годин. Будинок на принтері можна створити швидко, але це будуть тільки стіни, перегородки і сходи. Всі інші будівельні складові – двері, вікна встановлюють власноруч. Витрата бетону при будівництві таким роботом-3D-принтером становить 0,08–0,12 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> стіни при 4-х шаровому друку. Розмір друкованого шару складає 30×10 мм. Це ідеальна товщина і висота дозволить не обвалитися і не просісти розчину, також при висиханні матеріалу він не деформується. Швидкість позиціонування становить 12 м за 1 хвилину, а точність позиціонування всього 2 мм. Завдяки таким високим показникам друк таких виробів займає мало часу і дозволить у найкоротший час будувати велику кількість будівель.

Для здійснення будівельних робіт цим способом роботом-3D-принтером опалубки не потрібно, робот автоматизовано веде свою заливку будівельною сумішшю за заданим комп'ютером маршрутом у будь-яких формах.

Важливою частиною кожного проекту будівництва є його дизайн. При відновленні та реконструкції старовинних будівель і споруд, що мають історичну цінність міста дизайн реконструйованої будівлі може бути повторенням або гармонійним доповненням до існуючої забудови тих форм, які були до руйнування. В цьому може допомогти застосування робота-3D-принтера, якщо при програмуванні таких будівель до комп'ютерної програми внести певні елементи дизайну будівлі або частину, яка б не відрізнялася від зруйнованої старовинної будівлі. Тобто за допомогою програмного забезпечення ми

можемо створювати ті елементи дизайну старовинних будівель, які б повторювали єдиний архітектурний ансамбль, що існував до військових дій і мав історичну цінність.

Головною перевагою у роботі 3D-принтера є автоматизація процесів створення будівельних конструкцій. Для керування 3D-принтером потрібен лише один спеціаліст, що керує автоматизацією процесу та 2–3 працівника, що обслуговують цю машину. Таким чином не потрібно багато спеціалістів будівельної галузі, які задіяні у процесі будівництва. Спеціаліст, що керує роботом 3D-принтером повинен слідкувати за безперервною його роботою через пульт керування. Зокрема,

Поєднання комерційно доступних роботів, передового зварювального апарату та програмного забезпечення дає змогу виконувати будівельні роботи майже без спеціалістів будівельної галузі, за допомогою програмного забезпечення, робота-3D-принтера і керуючого з пульта управління процесом створення об'ємних будівель.

Відновлення зруйнованих війною будівель можливо при використанні робота-3D-принтера. Автоматизація процесів за мінімально короткий термін і з мінімальними витратами будівельних матеріалів та мінімальною кількістю спеціалістів може забезпечити відбудову житлового і нежитлового фонду України у післявоєнні часи.

### Висновки

1. За допомогою робота-3D-принтера та програмного забезпечення ми можемо створювати ті елементи дизайну старовинних будівель, які б повторювали єдиний архітектурний ансамбль, що існував до військових дій і мав історичну цінність.

2. Поєднання комерційно доступних роботів, передового зварювального апарату та програмного забезпечення дає змогу виконувати будівельні роботи майже без спеціалістів будівельної галузі, за допомогою програмного забезпечення, робота-3D-принтера і керуючого з пульта управління процесом створення об'ємних будівель.

3. Відновлення зруйнованих війною будівель можливо при використанні робота-3D-принтера. Автоматизація процесів за мінімально короткий термін і з мінімальними витратами будівельних матеріалів та мінімальною кількістю спеціалістів може забезпечити відбудову житлового і нежитлового фонду України у післявоєнні часи.

**Література**

1. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
2. ДБН Б.2.2-12:2019 «Інформаційний бюлетень 6'2019»
3. Про охорону культурної спадщини : Закон України від 8.06.2000 року № 1805. ВВР. № 39. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
4. Про застосування робота-3-D-принтера. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>
5. В. Казаченко, М. Лобко-Зампассі Виявлення схожості планування та оздоблення міської забудови України та Європейських країн. *Комунальне господарство міст Наук. техн. збірник серія технічні науки та архітектура*. Вип. 173. Т. 6. Харків ХНУМГ ім. Бекетова, 2022. С. 49–53.

**References**

1. Law of Ukraine dated February 17, 2011 № 3038-VI “On Regulation of Urban Planning”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text>
2. DBN B.2.2-12:2019 “Information Bulletin 6'2019”.
3. The Law of Ukraine “On the Protection of Cultural Heritage” of June 8, 2000 № 1805. VVR. № 39. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
4. About the use of a robot-3-D-printer. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>
5. Kazachenko V., Lobko-Zampassi M. Identification of similarities in the planning and decoration of the urban development of Ukraine and European countries. *Communal economy of cities Nauk. technical collection technical sciences and architecture series*. Is. 173. T. 6. Kharkiv KhNUMG named after Beketov 2022. P. 49–53.

## INNOVATIVE METHODS OF RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN POST-WAR TIMES USING A ROBOT-3D-PRINTER

**Abstract.** *The restoration of the territories affected by the military actions of the Russian Federation, which started the war in Ukraine, is needed very quickly. During the military invasion, a very large number of residential buildings in Ukraine were completely or partially destroyed. The city of Kharkiv is one of the most affected cities in the course of this war, so a quick, high-quality reconstruction is needed. Restore buildings of historical value destroyed by the war with the Russian Federation, reconstruct destroyed residential buildings and non-residential buildings and structures for the return of residents to our country, and preserve the historical value of ancient buildings and structures in the central part of the city of Kharkiv. Now, in the time of the latest technologies, when production processes are performed by robotic mechanisms, 3-D printers have appeared on the market of the construction industry, which perform the work accurately, quickly, qualitatively and with a minimum number of workers. Reconstruction of destroyed buildings with the help of a robot-3-D printer is a possible solution to the problem. Automation of the process and speed of construction are absolute priorities compared to other construction methods. A construction robot – a 3D-printer is a three-dimensional printing construction machine that operates automatically with the help of software through remote control along a given route, that is, when connected to power sources, it can literally create a ready-made building designed in the program in the presence of a small quantity of building materials – M 500 cement, sand, fiberglass and 2–3 construction workers who manage the process. These houses are literally printed by a robot-3D-printer, which is installed on the construction site in 3–5 days, and fills not only the external walls of the house, but also interior walls and openings with a liquid, quickly solidifying substance. The robot 3D-printer can print any building forms – not only flat, but also rounded walls, which can help restore destroyed historic buildings in the central part of the city. The liquid, which hardens almost without the need for internal plaster finishing construction work, is stable, strong and warm. Houses built with the help of a robot-3D-printer are not expensive and affordable. This can quickly solve the problem of restoration and reconstruction of destroyed buildings, both single-story manor houses and other buildings.*

**Key words:** *restoration of destroyed buildings, robotics and automation of the process, robot-3-D printer, concrete mixture.*

**Kazachenko L.M.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department  
“Designing of roads, geodesy and land management”,  
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

**Kazachenko V.A.**

Graduate Student at the “Department of Urban Construction” of the Educational  
and Scientific Institute for the Training of Highly Qualified Personnel,  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

**Lobko-Zampassi M.**

Assistant at the Department of “Fine Art and Design”,  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

**Kazachenko D.A.**

Teacher at the Department “Road design, geodesy and land management”,  
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv