

УДК 510.6

В.Є. ХОДАКОВ, Г.В. ВЕСЕЛОВСЬКА, А.Є. СОКОЛОВ, Є.С. БОРИСЕНКО
Херсонський національний технічний університет

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ
КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ
В КОНТЕКСТІ ВДОСКОНАЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
З НАБУТТЯ КОМПЕТЕНЦІЙ У ДАНІЙ ГАЛУЗІ**

Досліджено ряд ключових особливостей семантики предметної галузі комп'ютерних технологій тривимірного друку, з акцентуванням уваги на тих прогресивних технологіях і прикладних сферах використання, що найактивніше стимулюють розвиток тривимірного друку. Проаналізовано витоки та можливості вирішення проблеми вдосконалювання комп'ютерних систем забезпечення інформаційної підтримки процесів самостійного опановування галузі тривимірного друку, з набуттям належних компетенцій. Сформовано низку підходів до побудови моделей баз знань експертних підсистем для комп'ютерних систем інформаційної підтримки самостійної роботи щодо отримання компетенцій у галузі тривимірного друку.

Ключові слова: комп'ютерні системи, комп'ютерні технології, тривимірний друк, інформаційна підтримка, предметна галузь, компетенції, самостійна робота, дослідження, моделювання.

В.Е. ХОДАКОВ, Г.В. ВЕСЕЛОВСКАЯ, А.Е. СОКОЛОВ, Е.С. БОРИСЕНКО
Херсонский национальный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ
КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ
В КОНТЕКСТЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
ПО ПРИОБРЕТЕНИЮ КОМПЕТЕНЦИЙ В ДАННОЙ ОБЛАСТИ**

Исследован ряд ключевых особенностей семантики предметной области компьютерных технологий трехмерной печати, с акцентированием внимания на тех прогрессивных технологиях и прикладных сферах применения, которые наиболее активно стимулируют развитие трехмерной печати. Проанализированы истоки и возможности решения проблемы совершенствования компьютерных систем обеспечения информационной поддержки процессов самостоятельного освоения области трехмерной печати, с приобретением надлежащих компетенций. Сформирован ряд подходов к построению моделей баз знаний экспертных подсистем для компьютерных систем информационной поддержки самостоятельной работы по получению компетенций в области трехмерной печати.

Ключевые слова: компьютерные системы, компьютерные технологии, трехмерная печать, информационная поддержка, предметная область, компетентности, самостоятельная работа, исследование, моделирование.

V.Ye. KHODAKOV, G.V. VESELOVSKAYA, A.Ye. SOKOLOV, Ye.S. BORISENKO
Kherson National Technical University

**RESEARCH, AND MODELING IN THE SUBJECT AREA
OF COMPUTER TECHNOLOGIES FOR THE THREE-DIMENSIONAL PRINTING
IN THE CONTEXT OF PERFECTION FOR COMPUTER SYSTEMS
OF THE INFORMATION SUPPORT IN THE INDEPENDENT WORK
ON ACQUISITION OF COMPETENCE IN THIS AREA**

The advantages, problematic aspects, and a number of key features of the semantics for a highly relevant, practically significant and dynamically developing subject area of computer technology for three-dimensional printing, with an emphasis on the advanced technologies and applied applications that most actively stimulate the development of the three-dimensional printing, are explored. The main sources, and the most appropriate for the application possibilities in solving of the problem on improving for computer systems providing information support for the processes of self-mastering in the field of three-dimensional printing, with the acquisition of appropriate competencies are analyzed. According to the results of the analysis in the semantics of the subject area, the expediency on the formation of a knowledge base regarding developers, application areas, and recommendations rules regarding the optimal choice of three-dimensional printing technologies is substantiated. A number of new approaches to building models of knowledge bases for expert subsystems of computer systems on information support for independent work on obtaining competencies in the field of three-dimensional printing have been formed. In particular, for describing the fundamentally factual information of the knowledge base regarding three-dimensional printing technologies, the economic development of three-dimensional printing application areas, the display of numerical forecast indicators of the highest costs for equipment for the three-dimensional printing industry, respectively, specific directions of expenses and for certain application areas, formats of the predicates constructions to describe the relevant database of facts are represented. For the purpose of greater clarity, examples of concretization of predicates are given. The research results are applied to improve the educational process in special disciplines for the Department of Information Technology of the Faculty of Cybernetics and Systems Engineering at Kherson National Technical University.

Keywords: computer systems, computer technologies, three-dimensional printing, information support, the subject area, competence, independent work, research, modeling.

Постановка проблеми

Тривимірний друк (3D-друк) належить до категорії доволі недавно винайдених, сучасних, успішних, запитуваних і перспективних видів діяльності людини. Для більшості користувачів цільових категорій (усталених фахівців і тих, хто навчається) є безсумнівною актуальність теоретичного опанування та застосування надбань галузі 3D-друку, що мають високу практичну цінність і все ширше розповсюджуються та впроваджуються в різноманітні види та сфери діяльності. Поточний стан предметної галузі 3D-друку характеризується динамічним розвитком, постійною появою нових теоретичних і практичних надбань (забезпечення, технологій та їхніх практичних упроваджень), що обумовлено активною економічною стимуляцією підприємств-виробників і запитамі суспільства та користувачів. У перспективі, сфера 3D-друку також матиме потребу в неперервному розвитку концепцій і моделей, апаратного та програмного забезпечення, технологій організації та функціонування. Важливою є можливість нескладного та безперешкодного доступу до відповідної інформації,

швидкого та комфортного в опануванні набуття якісних компетенцій у предметній галузі 3D-друку й їхнього систематичного поновлення в режимі самостійної підготовки. Наявна ситуація стосовно інформаційної підтримки процесів самостійного опанування тематики 3D-друку не є досконалою та ставить проблему пошуку шляхів подальшого розвитку відповідних концептуальних підходів і математичних моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Із моменту створення 3D-друку, тематиці висвітлення його поточних досягнень було присвячено численні наукові публікації, аналітичні огляди, науково-популярні статті фахівців даної сфери (зокрема, слід окремо відзначити публікації [1–3]). Найбільш доступним, зручним і широко розповсюдженим форматом інформаційного споживання користувачів, які хочуть отримати, в першу чергу, загальну обізнаність у предметній галузі 3D-друку, стали аналітичні огляди, що, на жаль, часто планувалися без системи та поновлювання, незабаром втрачаючи первинну актуальність. У підсумку, користувач, який хотів навчатися та бути компетентним у галузі 3D-друку, отримував наступні негативи: масу погано систематизованої та структурованої інформації, з відповідними наслідками; надлишкову інформацію у вигляді зайвих і морально застарілих даних; суттєвий брак потрібної інформації. В цілому, можна зробити висновок, що, на даний час, у відкритому загальному доступі ще відсутня належна, повноцінна, систематизована інформаційна підтримка вивчення галузі тривимірного друку й отримання дієвих рекомендацій щодо роботи в її середовищах. Вирішення зазначених проблемних питань тільки засобами існуючих класичних, фундаментальних, добре опрацьованих методів бачиться неможливим, вимагаючи нових, додаткових досліджень і напрацювань [4–9]. Згідно вище означеного, актуальним є створення нових концептуальних підходів і методів моделювання, що дозволять удосконалити систему інформаційного забезпечення самостійної навчальної діяльності з опанування предметної галузі 3D-друку. Зокрема, постає необхідність вибору найдодільніших типів моделей для випадків локалізованої комп'ютерної та глобальної мережної інформаційної підтримки вказаної діяльності. Відповідно, має бути проведений аналіз специфіки та визначення категорій моделей для створення цілісної ефективної системи інформаційної підтримки (забезпечення) предметної галузі тривимірного друку.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є аналіз особливостей семантики предметної галузі, важливих для створення повноцінної комп'ютерної системи забезпечення ефективної інформаційної підтримки процесів самостійної роботи щодо набуття компетенцій у галузі 3D-друку, з подальшим формуванням ключових підходів до побудови моделі бази знань експертної підсистеми вказаної системи.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для сучасних комп'ютерних технологій є характерними процеси розмивання меж між віртуальною реальністю та дійсністю. Одним із показників ефективності вказаних процесів є розвиток комп'ютерних технологій 3D-друку, що відтворюють реальні тривимірні фізичні об'єкти як віртуальні образи – об'ємні графічні та геометричні моделі, котрі надалі втілюються за допомогою спеціалізованого комп'ютерного встаткування (3D-принтерів, 3D-плотерів) у тривимірні моделі з реальних матеріалів. З технологічної точки зору, процеси 3D-друку полягають у створенні виробу-моделі шляхом покрокового накладання шарів, де форми та додаткове спорядження є лише другорядними, допоміжними факторами. Основними матеріалами для формування об'ємних моделей 3D-друку є порошкоподібні суміші, що, під впливом температури, утворюють монолітний пластик, гіпс, спеціальні полімерні матеріали тощо. Основною перевагою пристроїв 3D-друку є органічне

сполучення таких можливостей: високо точне моделювання 3D-об'єктів будь-якої складності та топології геометричної форми; потрібне різноманіття витратних матеріалів для створення 3D-об'єктів; прийнятна швидкість; неперервний технологічний розвиток, підсумком якого є постійне пришвидшення і пониження собівартості процесів виготовлення 3D-виробів і просування їх на ринок продукції. З плином часу, технології 3D-друку стають доступнішими для різних сфер діяльності. В першу чергу, дослідники в сфері практичного застосування 3D-друку націлюються на такі прикладні галузі: високо точне виготовлення складних деталей і механізмів, ювелірних і дизайнерських виробів із дорогих матеріалів у дрібносерійному виробництві; будівництво й архітектура; медицина; освіта; цифрова поліграфія; виготовлення й оздоблення подарунків, сувенірів, кондитерських виробів тощо.

На першому етапі дослідження особливостей семантики предметної галузі 3D-друку, як галузі знань, що опановується в режимі самостійної роботи, було доцільним виокремити та проаналізувати ключові семантичні категорії прогресивних технологій і прикладних сфер використання, що найактивніше стимулюють розвиток 3D-друку. Основною метою аналізу технологій 3D-друку стало виділення в якості семантичних елементів тих із них, що відповідають наступним критеріям: спрямовані на отримання провідних місць у галузі 3D-друку; знаходяться в стані неперервного доопрацювання та вдосконалювання; вдосконалюють наявні стандарти в ключових сферах діяльності, таких як моделювання композитів, виробництво екологічно чистих матеріалів друку тощо; активно використовуються на практиці; є високо актуальними для ознайомлення й опановування. Найважливішими серед технологій 3D-друку, що знаходяться в завершальній стадії робіт, є ті, що, за оцінками дослідників, будуть готові до промислового застосування протягом декількох років. Аналіз сфер використання 3D-друку мав за мету виділення наступних семантичних складових та інформації про них: найпродуктивніших виробників; найактивніших користувачів; проблемні підгалузі; нагальні потреби та напрямки розвитку предметної галузі.

Слід відзначити, що одним із наріжних каменів предметної галузі 3D-друку є такий семантичний компонент, як поняття композитного матеріалу, що має наступні особливості: є багатокомпонентним; формується з пластичної основи, армованої наповнювачами з властивостями високої міцності та жорсткості; сполучає різноманітні складові речовини таким чином, що виникає новий матеріал із якісно та кількісно відмінними властивостями; в практичному застосуванні, надає можливість, зберігаючи або навіть покращуючи механічні характеристики конструкцій, зменшувати їх масу. Наочним є стратегічне технологічне партнерство компаній MultiMechanics, розробника програмного забезпечення (ПЗ) моделювання композитів (зокрема, MultiMech), і Fortify, виробника присадок, спрямоване на підвищення передбачуваності композитного 3D-друку: в процесі ітеративного проектування композитних деталей, ПЗ виступає інструментом забезпечення потрібного зворотного зв'язку; засобами MultiMech, прогнозується структурна цілісність друкованих деталей перед друком; оптимізується дизайн виробів, із контролем напряму волокон по всій їхній структурі.

Ще один наріжний камінь та один із ключових семантичних компонентів сфери 3D-друку являє метод спрямованого енергетичного осадження (СЕО), де лазерний промінь розплавляє матеріал, поданий за допомогою пристрою подачі порошку або дроту, й який застосовується для створення 3D-моделей на основі металів і сплавів, ремонту й обслуговування конструкційних деталей. Показовим прикладом є компанія Mitsubishi Electric Corporation – розробник технології адитивного виробництва точкових металевих деталей, котра: високоточно формує вироби на засадах сполучення в 3D-друці методу СЕО з комп'ютерними технологіями лазерного та чисельного управління та виробництва; збільшує продуктивність виробництва в широкому колі

прикладних сфер (формування деталей і ремонтні роботи в автосправі, побудова літаків, створення порожніх і нависаючих форм тощо); застосовується сумісно з деталями, виробленими іншими методами; застосовує загальнодоступний і недорогий лазерний зварювальний дріт; збільшує точність (на 60%); зменшує окислення (від 20%).

У галузі медицини, показовою є здатна до вдосконалювання технологія біологічного стерео-літографічного 3D-друку, що, застосовуючи наявність кисню для програмування та контролю жорсткості заданих часток, дозволяє: формувати як штучні 3D-об'єкти кровоносні судини та тканини органів і систем організму, зі змінними та контрольованими ступенями твердості; отримувати складні мережі кровоносних судин; покращувати процеси лікування судинних захворювань; здійснювати друк із біологічними матеріалами мінімального масштабу близько 10 мікронів.

Доцільно далі розглянути таке технологічне вдосконалення галузі 3D-друку, як розробка Університету Карнегі-Меллона, що тісно стосується сфери енергетики й автоматично потрапляє до сфери інтересів користувачів портативних гаджетів: завдяки методу виготовлення та використання електродів, який дозволяє створювати геометрично складні (такі, що не піддаються виготовленню за допомогою типових екструзійних методів) структури 3D-мікрорешіток із контрольованою пористістю, стає можливим: ефективно перенесення літію вздовж усього електроду, що підвищує швидкість зарядки акумулятору; використання навіть звичайними акумуляторами повного обсягу електродів (замість 30-50%); значне збільшення ємності та сповільнення розрядки батарей. Також означений метод 3D-друку представляє великий інтерес для таких галузей, як аерокосмічні впровадження, промислове виробництво медичних пристроїв, випуск побутової електроніки тощо.

Також важливою є технологічна розробка з галузі виробництва екологічних матеріалів для 3D-друку High Impact PolyStyrene plastic (HIPS), результат співпраці компаній Coolrec і Refil, що являє собою нитку для 3D-друку з численними перевагами, серед яких, міцність і довговічність, нейтральність кольору, гарна здатність піддаватися фарбуванню й оклеюванню, легкість (у порівнянні з ABS), застосовність до численних моделей 3D-принтерів органічно сполучаються з не токсичністю (виготовленням із перероблених нетоксичних пластмас, зокрема, шляхом переробки пластикових деталей відпрацьованих холодильників). Переважними галузями використання HIPS є: створення розчинних підтримувальних елементів; виробництво легких пристроїв, корпусів, упаковок, іграшок тощо. Можливе застосування HIPS і з нитками чорного кольору на базі матеріалу, переробленого з деталей відпрацьованих телевізорів.

Таким чином, бачиться доцільним, за підсумками аналізу семантики предметної галузі, формування бази знань щодо розробників, сфер застосування та правил-рекомендацій стосовно оптимального вибору технологій 3D-друку.

Для опису основоположної фактичної інформації бази знань щодо технологій 3D-друку, представимо предикатну конструкцію для опису бази фактів у форматі FDB_3DP_T(T1, T2, T3), де T1, T2, T3 будуть позначати, відповідно, найменування, галузі застосування та розробника технології. Розглянемо приклади опису фактів щодо вище означених технологій 3D-друку: FDB_3DP_T("продуктивні 3D-композити", "моделювання композитів", "MultiMechanics"); FDB_3DP_T("високоточне 3D-формування металів", "металічне 3D-формування", "Mitsubishi Electric"); FDB_3DP_T("біологічний 3D-друк кровоносних судин і тканин органів", "медицина", "Університет Боулдер, Колорадо"); FDB_3DP_T("розчинна нитка HIPS для FDM-друку", "екологічне виробництво, органічна хімія", "Coolrec, Refil"); FDB_3DP_T("3D-мікрорешітки з контрольованою пористістю для літій-іонних батарей", "енергетика", "Університет Карнегі-Меллона").

Ринок 3D-друку (обсяги продажів устаткування, витратних та інших матеріалів, програм, послуг) активно розвивається (приблизно, на 20 % щорічно). Таким чином, доцільно сформулювати предикатну конструкцію для опису бази фактів, що характеризує економічний розвиток галузей застосування 3D-друку, в форматі FDB_3DP_E(E1, E2, E3, E4), де змінні величини позначають таке: E1 – галузь застосування (промисловість, авіація і космос, військово-промисловий комплекс, архітектура, автомобілебудування, наука, медицина, споживчі товари, електроніка, інші галузі, узагальнена галузь тощо); E2 – відсоток участі певної прикладної галузі в економічному розвитку; E3 – світовий ринок (у мільйонах доларів); E4 – ринок країн колишнього СНД (у мільйонах доларів). Наведемо конкретний приклад подібного факту: FDB_3DP_E("споживчі товари (зокрема, електроніка)", 21.8, 2616000, 78480).

Наступний предикат для опису бази фактів, що відображатиме числові прогнози показники найбільших витрат на обладнання для галузі 3D-друку, відповідно до певних напрямків витрат, матиме наступний формат: FDB_3DP_F(F1, F2), де F1, F2 позначають, відповідно, функціональне спрямування витрат (пристрої для 3D-друку, матеріали для 3D-друку, послуги щодо постачання запчастин і системи інтеграції, винаходи, інтегрована функція тощо) та прогнозне значення витрат (у мільйонах доларів). Наведемо наочний приклад конкретизації представленого предикату для прогнозу на 2021 рік: FDB_3DP_F("пристрої для 3D-друку", 6800).

Ще один предикат для опису бази фактів, що відображатиме числові прогнози показники витрат на обладнання в сфері 3D-друку для певних прикладних галузей, представимо в форматі FDB_3DP_A(A1, A2), де змінні величини позначатимуть, відповідно, прикладну галузь (дискретне виробництво, медицина, освіта, споживчий сегмент, інші галузі, узагальнена галузь тощо) та прогнозне значення витрат (у мільйонах доларів). Представимо приклад конкретизації вказаного предикату для прогнозу на 2021 рік: FDB_3DP_A(галузь дискретного виробництва, 9200).

Спільні дослідження аналітиків і виробників показали такі особливості використання 3D-друку: певною мірою – 71%; 3D-принтери для виробництва готових деталей – 20%; планове збільшення бюджетних витрат на 3D-друк протягом року – 50%. У країнах колишнього СНД, загальні витрати на галузь 3D-друку становлять декілька відсотків від світового обсягу, а кількість виданих за останні півтора десятка років патентів за різними питаннями 3D-друку являє 0,15% від світового обсягу, причому більшу частку з них отримано іноземними заявниками. Поточний стан розвитку сфери 3D-друку в Україні характеризується наступним ступенем уваги до неї компаній, бізнесу: використовують активно – 12%; цікавляться та вивчають можливості – 48%; не цікавляться – 40%. 3D-друк активно застосовується в практиці високо точного друку моделей для прямого лиття, отримання ливарних форм і штампів, виробництва дрібносерійної продукції. Незважаючи на дуже помірну зацікавленість і практичне задіяння можливостей 3D-друку, порівняно з рядом інших країн, у даній предметній галузі постійно проводяться виставкові заходи та майстер-класи.

Аналіз стану справ щодо високо перспективних для подальшого розвитку технологій галузі 3D-друку (високоточного 3D-формування металів, моделювання композитів, підвищення ефективності акумуляторів, біологічного друку тканин організму, посилення екологічності матеріалів друку тощо) дозволив сформулювати наведені далі твердження. Адаптація сфери 3D-друку до виробництва пришвидшується, але підприємства недостатньо активно та всебічно застосовують її надбання. Найбільшою популярністю 3D-друк користується в сферах автомобілебудування, виробництва споживчих товарів. Аерокосмічна промисловість і військово-промисловий комплекс, не будучи найбільш масовими користувачами, рухають уперед прогрес та утримують лідерство. Ключові проблемні фактори знаходження 3D-друку на стадії

адаптації до виробництва та шляхи їх вирішення є такими: економічний фактор полягає у дуже високій для широкого застосування вартості якісних матеріалів, що має незабаром знайти вирішення з появою нових винаходів і популяризацією технологій – вартість набагато зменшиться, а користувачі зможуть обирати ресурси з ширшого асортименту та за потрібним співвідношенням ціни й якості; фактор недосконалості системи, що тягне за собою дефіцит масового ринку споживання – за промисловими масштабами, 3D-принтери мають стати більшими та швидшими; фактор браку належно підготовлених дизайнерів, із наявністю потрібних знань, досвіду й усвідомлення спеціалізованих потреб як 3D-друку в цілому, так і його конкретних прикладних галузей застосування. В цілому, виробники та користувачі застережно відносяться до сфери 3D-друку. На противагу, зростає чисельність виставок, майстер-класів, освітніх програм та інших заходів і засобів для ознайомлення з указаною сферою. Ефективне вирішення проблем можливе за підтримки комп'ютерних інформаційних систем, зокрема, експертних систем.

Висновки

Досліджено семантичні особливості предметної галузі тривимірного друку, що є важливими для створення повноцінних комп'ютерних систем забезпечення ефективної інформаційної підтримки процесів самостійної роботи з набуття компетенцій у вказаній галузі. За підсумками проведених досліджень, отримано нові наукові результати – здійснене формування ключових підходів до побудови ряду моделей баз знань експертних підсистем для комп'ютерних систем забезпечення інформаційної підтримки процесів самостійної роботи з набуття компетенцій у галузі тривимірного друку. Також результати досліджень застосовано з метою підвищення ефективності навчального процесу за фаховими дисциплінами кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.

Список використаної літератури

1. Luneva D. A., Kozhevnikova E. O., Kaloshina S. V. Application and prospects of 3D printing in construction activities. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, № 1. P. 90–101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.0 [in Russian].
2. Moorefield-Lang H. M. Makers in the library: case studies of 3D printers and maker spaces in library settings. *Library Hi Tech*. 2014. Vol. 32, Issue 4. P. 583–593. DOI: 10.1108/LHT-06-2014-0056.
3. Pryor S. Implementing a 3D Printing Service in an Academic Library. *Journal of Library Administration*. 2014. Vol. 54, Issue 1. P. 1–10. DOI: 10.1080/01930826.2014.893110.
4. Solomon J. Numerical algorithms: methods for computer vision, machine learning, and graphics: textbook. USA: CRC Press (AK Peters, Ltd.), 2015. 400 p.
5. Stecca G. (Eds.) Operations research applications. Rome, Italy: AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa), 2017. 123 p.
6. Yang X. Optimization techniques and applications with examples. USA, UK: WILEY, 2018. 384 p.
7. Ziegelmann J. P., Lippke S. Use of Selection, Optimization, and Compensation strategies in health self-regulation: Interplay with resources and successful development. *Journal of Aging and Health*. 2007. № 19. P. 500–518.
8. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. Москва: Физматлит, 2005. 176 с.
9. Подиновский, В. В., Ногин, В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Физматлит, 2007. 256 с.

References

1. Luneva, D. A., Kozhevnikova, E. O., & Kaloshina, S. V. (2017) Application and prospects of 3D printing in construction activities. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. **8**, 1, 90–101. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.0 [in Russian].
2. Moorefield-Lang, H. M. (2014) Makers in the library: case studies of 3D printers and maker spaces in library settings. *Library Hi Tech*. **32**, 4, 583–593. DOI: 10.1108/LHT-06-2014-0056.
3. Pryor, S. (2014) Implementing a 3D Printing Service in an Academic Library. *Journal of Library Administration*. **54**, 1, 1–10. DOI: 10.1080/01930826.2014.893110.
4. Solomon, J. (2015) Numerical algorithms: methods for computer vision, machine learning, and graphics: textbook. USA: CRC Press (AK Peters, Ltd.).
5. Stecca, G. (Eds.) (2017) Operations research applications. Rome, Italy: AIRO (Associazione Italiana di Ricerca Operativa).
6. Yang, X. (2018) Optimization techniques and applications with examples. USA, UK: WILEY.
7. Ziegelmann, J. P., & Lippke, S. (2007) Use of Selection, Optimization, and Compensation strategies in health self-regulation: Interplay with resources and successful development. *Journal of Aging and Health*. **19**, 500–518.
8. Nogin, V. D. (2005) Prinyatie resheniy v mnogokriterialnoy srede: kolichestvennyiy podhod. Moskva: Fizmatlit.
9. Podinovskiy, V. V., & Nogin, V. D. (2007) Pareto-optimalnyie resheniya mnogokriterialnyih zadach. M.: Fizmatlit.