

ЗАТВЕРДЖЕНО
Наказ МОНУ
від 05 червня 2013 року № 683
Форма № Н-3.04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
Факультет інформаційних технологій
Кафедра Біомедичної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету
інформаційних технологій
Верескун М.В.
«___» _____ 2020 р.

Методичні вказівки
до самостійного вивчення дисципліни

3D ДРУК В УМОВАХ БІОМЕДИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ
(3D Printing for Biomedical Applications)

напряму підготовки 163 «Біомедична інженерія»
(шифр і назва напряму підготовки)



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: «Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE- JP)

2019– 2020 навчальний рік

3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс] : методичні вказівки до самостійного вивчення курсу «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфременко. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 18 с.

Містить всю необхідну інформацію по структурі курсу, змісту, видами роботи і методам вивчення і засвоєння..

Укладач Б.В. Єфременко, к.т.н., ст. викладач

Рецензент О.Ю. Азархов, зав. каф., д.м.н., професор

Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP)

Рекомендовано
на засіданні кафедри «Біомедична інженерія»,
протокол № 21 від 24 червня 2019 р.

Затверджено
на засіданні методичної комісії факультету інформаційних технологій,
протокол № 10 від 24 червня 2019 р.

© ДВНЗ «ПДТУ», 2019

© Б.В. Єфременко, 2019

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ.....	7
2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КУРСУ.....	9
3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ.....	15
4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ПРИ ВИКОНАННІ ТА ЗАХИСТІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	16
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	17

ВСТУП

Адитивні технології є сучасним та інноваційним методом виробництва. Завдяки цим технологіям є можливість виробляти складні та досить високотехнологічні вироби. Досить широке застосування адитивні технології знайшли в медицині. Завдяки 3D друку є можливість виробляти індивідуальні протези та імпланти, можливо проводити предопераційні підготовки на моделях, які надруковані зі знімків МРТ хворого, проводити більш якісне навчання спеціалістів завдяки точним копіям органів людини, які можливо надрукувати на 3D принтері.

Основна **мета** курсу полягає в тому, щоб навчити студента:

- Розбиратись в різновиді технологій 3D друку, їх відмінностях;
- Розбиратись в різноманітті матеріалів, які використовують для друку;
- Розуміти в яких конкретних сферах можливо застосування адитивних технологій;
- Мати змогу підбору параметрів адитивного виробництва.

Задачі вивчення дисципліни:

- Створення у студентів основ досить широкої теоретичної підготовки в області адитивних технологій;
- Формування наукового мислення і наукового світогляду;
- Засвоєння основних методів 3D друку;
- Ознайомлення студентів із найбільш поширеною технологією 3D друку.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен проявляти такі **компетенції** в:

- Демонстрації інноваційних ідей у галузі адитивного виробництва в медицині;
- Зборі та розповсюдженні інформації про досягнення адитивних технологій;
- Основах технології 3D друку, їх перевагах та недоліках;
- Особливостях підготовки 3D моделей до друку;
- Основних видах матеріалів, які використовують для друку, їх перевагах та недоліках;

- Варіантах використання 3D друку в біомедичних цілях.

Студент, що вивчив дисципліну повинен мати **практичні навички** з:

- вибору методів та інструментів для друку з використанням металевих та полімерних матеріалів;
- розробки та вибору технології друку металевих та полімерних моделей;
- підготовки 3D моделей до друку та вибору оптимальних режимів друку;
- розв'язання задач аналітичними та симуляційними методами;

Робочою програмою, з якою можна ознайомитися на сайті ДВНЗ «ПДТУ» передбачено наступне:

Форма навчання	Кредитів ECTS		Аудиторних годин					Розподіл за семестрами		
			Всього	Лекцій	Практичних	Лабораторн		Іспитів	Залків	Курсових робіт
Денна	4	120	64	32	24	8	56	+	-	+

Перелік тем для самостійного вивчення

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Нетипові види 3D принтерів	2
2	Нетипові види матеріалів, які використовують для друку.	2
3	Особливості друку біологічними матеріалами. Проблеми та напрямки їх вирішення.	4
4	Можливість друку справжніх органів людини. Перспективи друку органів людини.	4

5	Сучасні напрямки розвитку та досягнення адитивних технологій в медицині та біоінженерії.	2
	Разом	14

Розрахунок часу для самостійної роботи студента за видами

№ з/п	Види роботи	Кількість годин
1	Опрацювання програмного матеріалу, що викладається на лекціях та тем самостійного опрацювання	32
2	Підготовка до лабораторних та практичних робіт	24
	Разом	56

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ КУРСУ

При вивченні курсу студент повинен добре усвідомити, що завдяки адитивним технологіям людство може подолати досить багато різноманітних проблем (здешевлення виробництва складної техніки, швидке прототипування, виготовлення імплантів та протезів «на місці», тобто біля пацієнта, друк штучних органів та інше). Тому досить важливо добре розбиратись в різноманітні технологій, які зараз застосовують.

Треба добре розуміти, для якої цілі або якого застосування буде друкуватися об'єкт. Виходячи з цього, можливо підібрати матеріал, який буде добре підходити до вимог за своїми механічними, хімічними властивостями. А вже виходячи з того матеріалу, який планується використовувати, можливо підібрати належну технологію, яка дозволить забезпечити необхідний рівень механічних властивостей виробу, без необхідності витрачання великої кількості грошей.

Студент повинен пам'ятати, що 3D принтер це звичайна машина, яка без людини не в змозі щось зробити. Від підготовки 3D моделі до друку залежить те, чи надрукується ця модель взагалі, чи буде якісною поверхня моделі, чи можливо її буде використовувати за призначенням та таке інше. Під час підготовки моделі, оператор готує, за допомогою спеціальних програм-слайсерів, код, який потім буде завантажено до принтера та за яким цей принтер буде друкувати модель.

Тому дуже важливо розуміти, що усіма діями машини, по факту, керує людина на стадії підготовки.

Самостійне систематичне вивчення курсу за навчальними посібниками є головним видом роботи студента.

Результат теоретичного вивчення курсу встановлюється під час іспиту в кінці семестру. До іспиту допускаються студенти, які виконали і здали лабораторні роботи; виконали і здали завдання з практичних занять (у вигляді домашніх завдань за планом практичних занять).

Результат практичного вивчення курсу встановлюється під

час здачі курсової роботи, яка являє собою надруковану 3D модель.

Вивчення курсу повинно йти в суворій послідовності, яка визначена робочим планом-програмою. При вивченні теми студенти з очною системою навчання повинні звернути увагу на те, які питання включені в лекції і які винесені для самостійного опрацювання. Студенту рекомендується вести короткий конспект, в якому слід записувати назву теми, що розглядається, питання, основні формулювання, визначення, схеми, висновки формул і типові завдання. Паралельно з вивченням теорії необхідно виконувати контрольні роботи. Закінчивши вивчення теми, студент повинен уважно повторювати матеріал до тих пір, поки він не зможе самостійно і повно викласти його зміст.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КУРСУ

Робота з інформаційними джерелами є основною при вивченні теоретичного курсу 3D друку. Студентам рекомендується використовувати новітні видання навчальних посібників згідно зі списком. У разі необхідності студент повинен звернутися за консультацією до викладача. Студент повинен пам'ятати, що будь-який незрозумілий йому матеріал буде заважати вивченню наступних тем курсу.

Вступ до 3D друку

Досить важливо знати і розуміти, звідки загалом пішов розвиток адитивних технологій, з чого все почалось. Треба розуміти, що цей спосіб виробництва досить молодий, тому зараз він знаходиться на підйомі свого розвитку.

Також в цьому розділі, для розуміння масштабності, треба ознайомитися з різноманіттям способів друку.

Контрольні питання

1. Класифікація технологій, що використовують в адитивному виробництві.
2. Класифікація матеріалів, що використовують в адитивному виробництві.
3. Особливості формування виробу при друку за різними технологіями.
4. Сфери застосування адитивних технологій.

Змістовний модуль 1. Основні технології та матеріали

Тема 1. Адитивні технології та відповідне обладнання

В цьому розділі вивчаються основні методи 3D друку (наприклад моделювання методом пошарового наплавлення (FDM або FFF), вибіркова лазерна плавка або спікання (SLM або SLS), полімеризаційні методи та інші), та обладнання, яке використовується з цими методами.

Перш за все, треба розуміти на яких принципах базуються методи та які в них відмінності друг від друга. Від того яким чином відбувається нагрівання та розплавлення матеріалу, яким друкують модель, залежить на сам перед діапазон матеріалів, які можливо використовувати за даним методом, потім йде складність та небезпечність обладнання, а вже за цим йде коштовність обладнання, витратних матеріалів та загалом кошторис самого друку.

Паралельно вивченню базових принципів методів, слід вивчати типові вузли 3D принтерів. Загалом, основні вузли принтерів, не залежно від методу друку або виробника обладнання, включають в себе мікропроцесор, який виконує обчислення команд алгоритму, набір моторів, які керують рухом друкуючого блоку або робочого стола, та сам робочий блок, який в залежності від методу може бути екструдером, лазером або навіть LCD-монітором.

Розуміння базових принципів методів друку та основних вузлів апаратів, допоможе добре усвідомлювати переваги та недоліки методів, що в майбутньому допоможе якісно та швидко підбирати необхідну технологію друку та матеріали.

Контрольні питання

1. Що вивчається в розділі «Адитивні технології та відповідне обладнання»?
2. Яка технологія на даний час є найбільш поширенню та дешевою?
3. Які переваги та недоліки FDM друку?
4. Які переваги та недоліки SLM друку?
5. Які переваги та недоліки полімерізаційних методів друку?
6. Які основні вузли 3D принтерів?

Тема 2. Матеріали

Зараз на ринку присутня велика кількість різноманітних пластиків, металів, кераміки, та навіть дерев'яних та бронзових

матеріалів для друку. Тому необхідно чітко розуміти, які матеріали для яких цілей можливо використовувати.

Треба вміти орієнтуватися в їх різноманітті, їх механічних, хімічних та експлуатаційних властивостях.

Важливо вивчити поширені види пластиків та металевих порошків, які використовують для друку.

Треба розуміти, що нехай людство ще не навчилось друкувати живі органи, але для медичного використання вже є цілий ряд спеціальних полімерів, металів. Важливим буде також вивчення сучасного стану друку біологічними матеріалами, яке останнім часом досить активно досліджується.

Контрольні питання

1. Що вивчається в розділі «Матеріали»?
2. Як основні групи матеріалів для друку існують?
3. Які полімери використовують для друку?
4. Які основні металеві порошки використовують для друку?
5. Якими біологічно сумісними матеріалами людство вже навчилось друкувати?

Змістовний модуль 2. Підготовка та друк 3D моделей

Тема 3. Робота з 3D моделями.

В цій темі важливо вивчити базові принципи конструювання моделей, базові принципи роботи програм для 3D моделювання. Важливо розуміти, які моделі в яких програмах краще, швидше та легше виробляти.

Під час моделювання слід завжди тримати в голові, за яким методом буде в майбутньому ця модель друкуватися. Бо від цього залежить багато параметрів, таких як розмір самої моделі, наявність частей, які «надвисають» на основі моделі, радіус закруглення поверхонь, товщини стінок, наявність пустот в моделі та інші.

В наш час досить поширеними в світі стали 3D сканери. Слід добре розібратись в цій технології, розуміти які є

особливості під час 3D сканування, що можливо сканувати, а що ні. В яких випадках можливо застосування 3D сканеру, а в яких краще буде самостійно змоделювати об'єкт.

Контрольні питання

1. Що вивчається в курсі «Робота з 3D моделями»?
2. Які основні принципи побудови 3D моделей?
3. В яких програмах можливо будувати 3D моделі?
4. Відмінності CAD-програм від 3D-візуалізаторів.
5. Який принцип роботи 3D сканеру?
6. Особливості використання 3D сканеру для побудови 3D моделі.
7. Основні критерії можливості друку моделі?
8. Особливості підбору технології друку під конкретні моделі.

Тема 4. Підготовка 3D моделі до друку та друк

При підготовці моделі до друку слід ще раз переконатися в тому, що технологія, якою збираються друкувати модель, підходить до неї, що підходять розміри, що за обраним методом можливо надрукувати необхідні закруглення та інше.

Якщо є критичні відхилення, то їх слід виправити, якщо є така змога. Якщо немає, то через настройки друку, треба максимально спробувати їх прибрати.

Слід досить уважно вивчити, що таке програми-слайсери, для чого вони потрібні та які бувають. На прикладі універсальної програми слід вивчити основні функції та настройки, які можливо задавати. Важливо розуміти, в яких випадках які настройки використовувати.

Не забувайте, що від таких параметрів як товщина шару, ступінь заповнення моделі, використання додаткових бримів або рафтів, напряму впливає на час друку, який в залежності від ситуації може бути критичним. Слід завжди тримати в голові, скільки часу на друк ви маєте.

Розумійте, що під час друку матеріали можуть повести себе неочікувано, тому слід знати, які можливі неприємності можуть вас спіdkати під час друку та необхідно знати, що в таких випадках треба робити.

Також не менш важливо знати яким чином можливо обробити модель вже після друку.

Контрольні питання

1. Призначення та функції програм «слайсерів».
2. Основні настройки «слайсерів».
3. Режими друку.
4. Допоміжні функції «слайсерів».
5. Розрахунок часу друку.
6. «Прилипання» моделі до робочого столу.
7. Особливості підготовки моделей до друку пластиками.
8. Особливості підготовки до друку металевих моделей.
9. Особливості підготовки моделей до друку, за технологією стереолітографії.
10. Підготовка 3D принтеру до друку.
11. Конструкції, що підтримують модель під час друку.
12. Взаємозв'язок між якістю та тривалістю друку.
13. Поведінка матеріалів під час друку.
14. Типові помилки під час друку.
15. Обробка моделей після друку.
16. Захист готових моделей від впливу навколишнього середовища.

Тема 5. Виготовлення імплантів в біомедицині.

Важливо вивчити вимоги до друку виробів медичного характеру. Треба знати, за якими технологіями 3D друку можливо виконувати ці вимоги, які матеріали при цьому можна використовувати.

Треба розуміти, що крім поширених біосумісних металів то полімерів, вже існують біологічні матеріали.

, що роботу робить не магнітне поле, а сторонні сили, які породжують електричний струм.

Контрольні питання

1. Які технології використовують для друку виробів біомедичного характеру?
2. Біосумісні матеріали. Загальна характеристика.
3. Біосумісні пластики.
4. Біосумісні метали.
5. Сфери застосування друкованих виробів медичного призначення.

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

Навчальним планом при вивченні курсу передбачено проведення практичних занять для закріплення матеріалу, що вивчається.

Метою проведення практичних занять є закріплення теоретичного лекційного матеріалу, а також отримання навичок роботи з 3D моделями та програмами- слайсерами.

В результаті проведення практичних занять студенти повинні:

- знати основні принципи побудови 3D моделей;
- вміти готувати моделі до друку;
- вміти проводити додрукарську підготовку;
- розбиратися в настройках та можливостях «слайсеру».

У тому випадку, якщо студент вивчає курс самостійно, практичні заняття можуть бути замінені рішенням контрольних робіт. Для успішного виконання контрольних робіт студент попередньо повинен вивчити відповідний теоретичний матеріал і розглянути завдання з рішеннями за допомогою одного з методичних посібників.

4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ПРИ ВИКОНАННІ ТА ЗАХИСТІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Мета лабораторних занять – на практиці познайомитися з будовою 3D принтеру на прикладах FDM принтерів FlashForge Inventor та Vernerfab, а також підготувати їх до друку та надрукувати модель.

На лабораторних роботах студенти знайомляться з будовою принтерів, розглядають основні вузли устаткування, готують принтери до друку (проводять калібрування робочого столу, встановлення пластику) перевіряють готовність техніки до роботи, та настраюють сам друк.

Після виконання на плановому занятті лабораторної роботи студент повинен самостійно виконати звіт по цій роботі і підготуватися до захисту лабораторної роботи.

Звіт виконується на папері формату А4 з титульним листом. **Вимоги до оформлення звіту з лабораторної роботи**

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- титульний лист;
- назва і мета лабораторної роботи;
- схему (або малюнок) робочої установки з розшифровкою всіх цифрових позначень на цій схемі;
- робочу формулу (чи формули) з розшифровкою символів і числових коефіцієнтів, що входять в формулу;
- таблицю (або таблиці) з усіма вимірюваними в роботі даними;
- висновок з лабораторної роботи, в якому повинен бути розкритий зміст проведеної роботи.

Зміст висновків до лабораторної роботи, як правило, відображає рівень розуміння студентом суті лабораторної роботи і сенсу отриманих результаті.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 3D Printing: Understanding Additive Manufacturing, Andreas Gebhardt, Julia Kessler, Laura Thurn, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2018. – 204 p.
2. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection, Rafiq Noorani, CRC Press, 2017. – 271 p.
3. Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies, David Ian Wimpenny, Pulak M. Pandey, L. Jyothish Kumar, Springer, 2016. – 186 p.
4. Mandrycky c. Et al. 3D bioprinting for engineering complex tissues //biotechnology advances. – 2016. – т. 34. – №. 4. – с. 422-434.

Допоміжні

5. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ».– 2015.– 220 с.
6. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
7. Каменев, С.В. Технологии аддитивного производства / С.В. Каменев, К.С. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2017. – 145 с.

Інформаційні ресурси

Довідкові матеріали та новини індустрії на сайтах:

- <https://mplast.by/tag/3dp/>
- <https://3dprinter.ua/blog/>
- <https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/>
- <https://mplast.by/literatura/3d-pechat/>

Розроблено в рамках проекту «Erasmus+ (CBHE) BioArt: «Інноваційна мультидисциплінарна навчальна програма зі штучних імплантів для біоінженерії для рівнів бакалавр та магістр»

Developed in the frame of project «Erasmus+ (CBHE) BioArt: Innovative Multidisciplinary Curriculum in Artificial Implants for Bio-Engineering BSc/MSc Degrees» (586114-EPP- 1-2017- 1-ES- EPPKA2-CBHE- JP)