

ДОДАТОК А

Апробація наукових результатів дослідження

МАТЕРІАЛИ ХХVII
МІЖНАРОДНОГО
МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ

МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА
ТА МОЛОДЬ У ХХІ
СТОЛІТТІ



2023

ТОМ 2

ХАРКІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МАТЕРІАЛИ
27-го МІЖНАРОДНОГО МОЛОДІЖНОГО ФОРУМУ
«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ У ХХІ СТОЛІТТІ»
10 – 12 травня 2023р.

ТОМ 2

КОНФЕРЕНЦІЯ
«АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ
ТА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ»

Харків 2023

УДК [681.5:004]:[621.37/39:681.2](06)

27-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Зб. матеріалів форуму. Т. 2. – Харків: ХНУРЕ. 2023. – 166 с.

В збірник включені матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму
«Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті».

Видання підготовлено
факультетом автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного університету радіоелектроніки

61166 Україна, Харків, просп. Науки, 14 тел./факс: (057) 7021397
E-mail: mref21@nure.ua

© Харківський національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2023

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Филипенко О. І. доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій (АКТ)
- Невлюдов І.Ш. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ)
- Giergiel M. Ph.D., D.Sc.Eng., AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland.
- Павлиш В.А. кандидат технічних наук, професор кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій.
- Мосьпан В.О. кандидат технічних наук, професор, декан факультету електроніки і комп'ютерної інженерії (ФЕКІ)
- Єфіменко А.А. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронні засоби і інформаційно-комп'ютерні технології (ЕЗіКТ)
- Хорошайло Ю.Є кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів (ПЕЕА).
- Євсєєв В.В. доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ)
- Ключник І.І. кандидат технічних наук, професор, професор кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів (ПЕЕА)

УДК 681.518.5

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ
РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

УДК 004.942

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ 3D ДРУКУ БЕЗ

ПІДТРИМОК

Пилипенко В.В.

Науковий керівник – консультант Стрілець Р.Є. Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. КІТАМ, м. Харків, Україна

тел. +38(099) 253-37-39, e-mail: vitalii.pylypenko@nure.ua,

тел. +38(066) 330-19-86, e-mail: roman.strilets@nure.ua.

3D printing is a technology for producing objects from various materials using special devices based on computer modeling. During the printing process, objects may require supports to avoid warping or breakage during printing, as well as to ensure stability and accuracy of printing complex geometries. However, the printing process with supports can be complex and time-consuming, as well as require significant material and energy costs. Physico-mathematical optimization is one of the possible solutions to improve the printing process, reduce its costs, and enhance the quality of products. The aim of this report is to identify the basic principles and methods of physico-mathematical optimization of 3D printing without supports, as well as its potential practical applications.

Задача фізико-математичної оптимізації 3D друку без підтримок полягає у виборі найбільш оптимальної стратегії друку, яка б забезпечила відповідність розмірів та міцність друкованого виробу, а також зменшувала витрати матеріалів та часу друку. Для досягнення цієї мети використовуються різноманітні методи та алгоритми фізико-математичної оптимізації, які ґрунтуються на принципах математичної оптимізації та теорії експериментів.

Одним з найбільш поширених методів фізико-математичної оптимізації є метод кінцевих елементів (Finite Element Method, FEM), який дозволяє моделювати поведінку друкованого виробу за допомогою обчислення його фізичних параметрів. Для цього спочатку створюється комп'ютерна модель виробу, яка розбивається на елементи кінцевого розміру, що дозволяє врахувати характеристики кожного елемента та їх взаємодію між собою. Після цього проводяться чисельні обчислення з використанням методу кінцевих елементів, які дозволяють визначити оптимальну конфігурацію друку, забезпечуючи максимальну міцність та мінімальну кількість матеріалів.

Крім методу кінцевих елементів, існує також метод топологічної оптимізації, який базується на використанні алгоритмів пошуку найкоротшого шляху між початковою та кінцевою точками у мережі вузлів.

У випадку 3D друку, мережа вузлів відповідає топології об'єкта, який потрібно оптимізувати. Алгоритм топологічної оптимізації забезпечує автоматичне визначення оптимальної форми виробу, зменшуючи кількість матеріалу, не втрачаючи при цьому необхідну міцність та точність.

Також до методів фізико-математичної оптимізації можна віднести методи математичного програмування, такі як лінійне та нелінійне програмування. Вони дозволяють розв'язувати складні математичні задачі, зокрема задачі оптимізації, шляхом визначення мінімального або максимального значення функції цілі за обмеженнями. Ці методи можуть бути застосовані для визначення оптимальної швидкості друку, температури друку, розташування виробів на платформі друку тощо.

У процесі фізико-математичної оптимізації також можна використовувати алгоритми машинного навчання, такі як нейронні мережі та генетичні алгоритми. Нейронні мережі можуть використовуватися для прогнозування поведінки виробу на основі вхідних даних, таких як параметри друку, температура та інші фактори. Генетичні алгоритми використовуються для визначення оптимальної конфігурації виробу, шляхом зміни параметрів друку та оцінки їх впливу на якість та міцність виробу.

Важливо зазначити, що в процесі фізико-математичної оптимізації необхідно враховувати також особливості матеріалів, з яких виготовляється виріб, а також особливості друкуючого обладнання.

Крім того, при фізико-математичній оптимізації необхідно враховувати особливості конструкції виробу та його функціонального призначення. Наприклад, при оптимізації виробу, призначеного для використання в авіації, необхідно враховувати вимоги до міцності та легкості конструкції, а також умови його експлуатації.

Також важливо забезпечити відповідність оптимальної форми виробу можливостям друкуючого обладнання. Наприклад, при виготовленні виробів за допомогою фотополімерного друку необхідно врахувати мінімальну товщину шару, з якою можна надрукувати модель, а також вимоги доточності виробу.

Загалом, фізико-математична оптимізація 3D друку без підтримки - це складний та багатогранний процес, який потребує використання різноманітних методів та алгоритмів. В процесі оптимізації необхідно враховувати особливості матеріалів, конструкції виробу, його функціонального призначення та можливості друкуючого обладнання. Фізико-математична оптимізація дозволяє отримати оптимальну форму виробу, зменшивши кількість матеріалу та не втрачаючи при цьому необхідну міцність та точність. Розгляд даної теми є актуальним та важливим, оскільки він сприяє впровадженню нових технологій та методів, що дозволяють ефективніше вирішувати завдання з допомогою 3D друку.

Список використаних джерел:

1. Nevlyudov, I., Nikitin, D., Bliznyuk, D., Gurin, D., Razumov-Frizyuk, E., Sagittarius, E. (2020). Production of printed circuit boards using 3D printing technologies. Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding named after Admiral Makarov, 4 (482).

2. Силабус навчальної дисципліни «3D моделювання та адитивні технології» [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: https://kkite.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/50/2022/03/Силлабус_3D-моделювання-та-адитивні-технології.pdf
3. 3D Printed Bionic Ears. [Електронний ресурс] – Режим доступу. –URL: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nl4007744>
4. 3D-принтери зможуть друкувати без підтримок [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://monofilament.com.ua/ua/blog-novini-3d-druku-ta-additivnih-tehnologij/3d-printeri-zmozhut-drukuvati-bez-pidtrimok>
5. Апарат для виробництва тривимірних об'єктів за допомогою стереолітографії [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5c/a0/27/e49642dab99cf6/US4575330.pdf>
6. SLS технологія 3D друку: суть, переваги та сфери застосування [Електронний ресурс] – Режим доступу. – URL: <https://additive.com.ua/ua/sls-tekhnolohiya-3d-druku/>

«РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА МОЛОДЬ В ХХІ СТОЛІТТІ»

Матеріали 27-го Міжнародного молодіжного форуму

Відповідальні за випуск: О.І. Филипенко

Комп'ютерна верстка: С.І. Теслюк

Матеріали збірника публікуються в
авторському варіанті без редагування

Підп. до друку 24.05.2023

Умов. друк. арк. 11,6

Зам. № _____ - _____.

Формат 60x84 1/16 Спосіб друку - ризографія

Тираж 108 прим.

Ціна договірна

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14



NURE

Харківський національний
університет радіоелектроніки



XXVII Міжнародний
молодіжний форум

"Радіоелектроніка та
молодь у XXI столітті"

ДОДАТОК Б

Результати експериментальних досліджень та розробка математичної моделі
проведеного досліджу

Таблиця Б.1 – Результат регресійного аналізу для першого дослідження
пластику PLA в ПЗ Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	SUMMARY OUTPUT									
2										
3	<i>Regression Statistics</i>									
4	Multiple R	0,955062617								
5	R Square	0,912144602								
6	Adjusted R Square	0,874492288								
7	Standard Error	1,516103905								
8	Observations	11								
9										
10	ANOVA									
11		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
12	Regression	3	167,0518208	55,6839403	24,2254597	0,00045168				
13	Residual	7	16,08999736	2,29857105						
14	Total	10	183,1418182							
15										
16		<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>	
17	Intercept	32,30489135	9,092266704	3,55300745	0,00930617	10,805097	53,8046857	10,805097	53,8046857	
18	Extruder temperature	-0,020138666	0,043544659	-0,46248303	0,65776694	-0,12310542	0,08282809	-0,12310542	0,08282809	
19	Print speed, mm/s	-0,035067012	0,023286623	-1,50588652	0,17581765	-0,09013113	0,0199971	-0,09013113	0,0199971	
20	Cooling capacity, %	0,094640976	0,011508793	8,22336213	7,642E-05	0,067427	0,12185495	0,067427	0,12185495	
21										
22										
23										
24	RESIDUAL OUTPUT									
25										
26	<i>Observation</i>	<i>Predicted Strength of rosive, MPa</i>	<i>Residuals</i>							
27	1	34,32322105	0,876778953							
28	2	35,53654176	-1,03654176							
29	3	26,27031778	-1,47031778							
30	4	34,98448499	-1,28448499							
31	5	26,62450096	-0,72450096							
32	6	26,93509479	1,164905214							
33	7	26,72519429	-0,62519429							
34	8	33,77116427	2,028835727							
35	9	27,73712835	0,562871651							
36	10	35,9879052	-1,0879052							
37	11	31,30444655	1,595553447							

Таблиця Б.3 – Результат регресійного аналізу третього дослідження пластика ABS в ПЗ Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	SUMMARY OUTPUT								
2									
3	<i>Regression Statistics</i>								
4	Multiple R	0,80061002							
5	R Square	0,640976404							
6	Adjusted R Square	0,487109149							
7	Standard Error	3,286631649							
8	Observations	11							
9									
10	ANOVA								
11		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
12	Regression	3	134,9954577	44,9984859	4,16577525	0,05475693			
13	Residual	7	75,61363318	10,8019476					
14	Total	10	210,6090909						
15									
16		<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
17	Intercept	16,23768352	17,32924852	0,93701025	0,37994662	-24,7394778	57,2148448	-24,7394778	57,2148448
18	Extruder temperature	0,10167485	0,069462186	1,46374389	0,1866719	-0,06257712	0,26592682	-0,06257712	0,26592682
19	Print speed, mm/s	0,007390696	0,070007721	0,10556972	0,91888527	-0,15815126	0,17293265	-0,15815126	0,17293265
20	Cooling capacity, %	-0,053032983	0,02997383	-1,76930952	0,12015751	-0,12390983	0,01784386	-0,12390983	0,01784386
21									
22									
23									
24	RESIDUAL OUTPUT								
25									
26	<i>Observation</i>	<i>Predicted Strength of rosive, MPa</i>	<i>Residuals</i>						
27	1	34,85039755	-4,35039755						
28	2	32,22117111	0,578828895						
29	3	39,91852673	-4,81852673						
30	4	33,31182656	0,888173442						
31	5	38,97568519	0,724314806						
32	6	41,06066644	0,239333564						
33	7	38,5412179	-1,6412179						
34	8	32,23461936	2,365380644						
35	9	41,406696	1,593304004						
36	10	40,55229219	-0,15229219						
37	11	40,42690098	4,573099021						

ДОДАТОК В

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації

