

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОТОПОЛІМЕРНОЇ СМОЛИ ДЛЯ АДИТИВНОГО 3D-ДРУКУ

**Нікітін Дмитро Олександрович**

Аспірант кафедри

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

**Коротун Єгор Вадимович**

Студент

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна*

Фотополімерний 3D друк - це технологія виготовлення об'єктів шляхом нашарування тонких шарів рідкої fotocутливої смоли та її подальшого затвердіння за допомогою ультрафіолетового світла. Використання фотополімерного 3D друку має кілька важливих переваг: висока роздільна здатність; можливість виготовлення складних геометричних форм; широкий вибір матеріалів; швидкість виробництва; процес виробництва без відходів; прототипування та тестування продуктів. Усі ці переваги роблять фотополімерний 3D друк популярним у різних галузях, таких як інженерія, медицина, дизайн, виробництво прототипів та інші. Точність виготовлення деталей з використанням цих технологій залежить не лише від технічних характеристик принтера, але також від властивостей фотополімерної смоли. Таким чином, визначення впливу смоли на збереження геометричних розмірів є актуальною задачею при виготовленні моделі [1-3]. Основною метою цієї роботи є визначення впливу різних марок фотополімерних смол на збереження геометричних розмірів моделі. Таким чином, на першому етапі необхідно визначити, які саме фотополімерні смоли будуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Було обрано 9 фотополімерних смол, які є найбільш поширеними серед звичайних користувачів. Основні характеристики визначаються як ті, що можуть впливати на відхилення геометричних розмірів моделі (див. табл. 1). З метою побудови моделі множинної регресії впливу смол на розміри 3D-моделі, планується обрати дві марки фотополімерів з найкращими початковими характеристиками. Для вирішення цього питання, щодо вибору конкретних марок смоли, буде використано факторний аналіз.

*Таблиця 1*

**Марки та характеристики фотополімерних смол для дослідження**

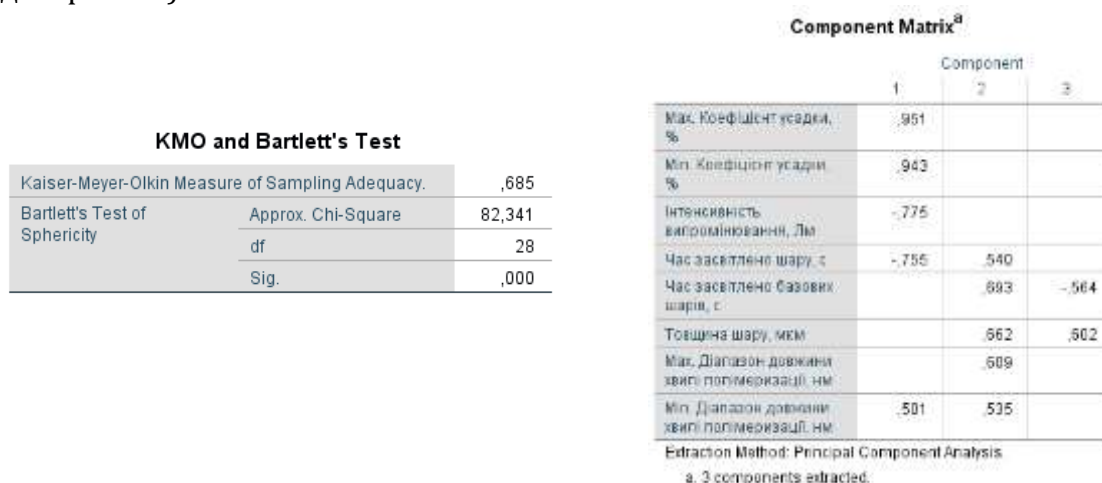
№	Назва смоли	Min. довжини хвилі полімеризації, нм	Max. довжини хвилі полімеризації, нм	Min. Коефіцієнт усадки, %	Max. Коефіцієнт усадки, %	Час засвітлення шару, с	Час засвітлення базових шарів, с	Товщина шару, мкм	Інтенсивність випромінювання, Лм
1	Anycubic 405nm UV	405	405	2,76	3,54	5	15	35	1600
2	Plexiwire Resin Basic	405	450	3,04	3,82	7	20	35	1800
3	MonoFilament Basic	405	450	2,37	4,22	7	25	35	1600
4	FunToDo	225	415	1,27	2,43	6	17	20	2600
5	Wanhao Castable	395	420	1,16	1,16	8	15	35	2600

Продовження табл. 1

№	Назва смоли	Min. довжини хвилі полімеризації, нм	Max. довжини хвилі полімеризації, нм	Min. Коефіцієнт усадки, %	Max. Коефіцієнт усадки, %	Час засвітлення шару, с	Час засвітлення базових шарів, с	Товщина шару, мкм	Інтенсивність випромінювання, Лм
6	BlueCast CR3A	400	410	3,74	4,82	4	9	10	1800
7	Elegoo 3D	385	450	5,37	5,74	3	10	35	1600
8	Weistek	385	410	2,38	3,02	7	15	50	1800
9	Tevo	380	420	3,53	4,22	8	12	50	2400

Факторний аналіз дозволяє зменшити розмірність вибірки. Якщо об'єкт описується багатьма характеристиками, які можуть бути взаємозалежними (зміна однієї характеристики призводить до зміни іншої), то факторний аналіз дозволяє скоротити цей набір характеристик до меншої кількості, зберігаючи при цьому важливу інформацію для подальшого аналізу.

Для проведення аналізу ми вводимо початкові дані в IBM SPSS Statistics 26, що дозволяє отримати 8 параметрів, що характеризують певний тип фотополімерної смоли. Після розрахунків перевірки міри адекватності та критерію Бартлетта (КМО та тест сферичності Бартлетта), отримуємо значення 0,685. Це значення перевищує поріг 0,5, що підтверджує успішність факторного аналізу (див. рис. 1а). Інша важлива таблиця – це таблиця перетворених матриць компонентів (Component Matrix) (див. рис. 1б).



а)

б)

а – міри адекватності та критерію Бартлетта; б – матриця перевернутих компонентів

Рис.1. Результати досліджень

Вісім початкових характеристик та ідентифікували три компоненти (три макрофактори). Отримані значення представляють кореляції, наприклад: максимальний коефіцієнт усадки корелює з першим фактором на рівні 0,951 (значима кореляція); час засвітлення шару одночасно корелює з першим на -0,755 (значуща кореляція) та з другим фактором на 0,54 (слабка кореляція).

Для зручності подальшої оцінки фотополімерних смол, ми перейменовуємо отримані нові змінні: FAC1\_1 – «Показники усадки»; FAC2\_1 – «Час експонування та висота шару»; FAC3\_1 – «Показники адгезії перших слоїв».

Щоб полегшити подальший аналіз, ми переводимо ці значення в нормалізований стан, розділяючи всі значення факторів на три рівні проміжки (робимо ранжування ряду). Це дозволяє описати значення за допомогою балів (1 – низький, 2 – середній, 3 – високий рівень). У розділі Data View отримуємо нові змінні NFAC1\_1, NFAC2\_1 та NFAC3\_1, за якими можна провести оцінку. Підставивши ці значення під конкретну марку смоли, отримуємо оцінку за трьома показниками (див. табл. 2).

Таблиця 2

### Результати оцінювання фотополімерних смол

№	Марка смоли	Показники оцінки			Середній бал
		Показники усадки	Час експонування та висота шару	Показники адгезії перших слоїв	
1	Anycubic 405nm UV	3	1	2	2
2	Plexiwire Resin Basic	2	3	2	2,3
3	MonoFilament Basic	2	3	2	2,3
4	FunToDo	1	3	1	1,6
5	Wanhao Castable	1	2	3	2
6	BlueCast CR3A	3	1	1	1,6
7	Elegoo 3D	3	2	1	2
8	Weistek	1	2	3	2
9	Tevo	2	1	3	2

На рис. 2, наведено результати друку тестових зразків.



а)



б)

а – тестовий зразок Plexiwire Resin Basic; б – тестовий зразок MonoFilament.

Рис. 2. Тестові зразки

**Висновки.** Аналізуючи результати (табл. 2), можна відзначити, що до першого макро-фактора увійшли: максимальний діапазон довжини хвилі полімеризації, мінімальний коефіцієнт усадки, інтенсивність випромінювання, час засвітлення шару, мінімальний діапазон довжини хвилі полімеризації. Це логічно та взаємопов'язано, оскільки: час експонування шару може впливати на усадку, оскільки менший час на шар призводить до більшої усадки відносно загального об'єму шару, через те, що недостатня полімеризація шару сприяє усадці друкованого шару; мінімальний діапазон хвилі полімеризації та інтенсивність випромінювання також можуть впливати на усадку в залежності від хімічних властивостей смоли.

До другого макро-фактора увійшли наступні параметри: час засвітлення шару, час засвітлення базових шарів, товщина шару, максимальний діапазон довжини хвилі полімеризації, мінімальний діапазон довжини хвилі полімеризації. Залежність цих параметрів також можливо пояснити: час експонування основних та базових шарів може впливати на товщину шару, оскільки більший час може збільшити ризик виникнення паразитного засвічування шарів; довжина хвилі полімеризації також впливає на товщину шару, оскільки може існувати залежність від хімічних

властивостей смоли. Чим більше довжина хвилі, тим більша рекомендована висота шару.

До третього макро-фактора увійшли час експонування базових шарів та товщина шару. Тут кореляція пояснюється тим, що чим вища висота базових шарів, тим менше часу потрібно для їхнього експонування.

#### **Список використаних джерел:**

1. Alfred Jacobsen, Trond Jorgensen, Qyvind Tafjord, and Endre Kirkhorn "Concepts for 3D print productivity systems with advanced DLP photoheads", Proc. SPIE 9376, Emerging Digital Micromirror Device Based Systems and Applications VII, 937605
2. Rocheva, V. V.; Koroleva, A. V.; Savelyev, A. G.; Khaydukov, K. V.; Generalova, A. N.; Nechaev, A. V.; Guller, A. E.; Semchishen, V. A.; Chichkov, B.N.; Khaydukov, E. V. High-Resolution 3D Photopolymerization Assisted by Upconversion Nanoparticles for Rapid Prototyping Applications. Sci. Rep. 2018, 8, 1– 10, DOI: 10.1038/s41598-018-21793-0
3. Fiedor, P.; Pilch, M.; Szymaszek, P.; Chachaj-Brekiesz, A.; Galek, M.; Ortyl, J. Photochemical Study of a New Bimolecular Photoinitiating System for Vat Photopolymerization 3D Printing Techniques under Visible Light. Catalysts 2020, 10, 284.