

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЯТА НА ТАГУЧИ ЗА АНАЛИЗ НА ТОЧНОСТТА НА РАЗМЕРА ПРИ 3D ПЕЧАТ

СЪБИ СЪБЕВ, ВАЛЕРИ БАКЪРДЖИЕВ

*Технически Университет София, филиал Пловдив*  
*sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, bakardzhiev@tu-plovdiv.bg*

**Резюме:** В статията е разгледано планиране на експеримента по метода на Тагучи за влиянието на параметрите при 3D принтиране върху точността на размерите. Показано е как да се изпълни дизайн на Тагучи с помощта на DOE в Minitab. На базата на дизайна на Тагучи за експерименталната методология и по-точно толерантността, се установи, че дебелината на слоя и скоростта на печат са най-влиятелните параметри за точността на печат.

**Ключови думи:** 3D принтер, планиране на експеримента, метод на Тагучи

## APPLICATION OF TAGUCHI METHOD FOR ANALYZING THE DIMENSIONAL ACCURACY IN 3D PRINTING

SABI SABEV, VALERI BAKARDZHIEV

*Technical University Sofia, Branch Plovdiv*  
*sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, bakardzhiev@tu-plovdiv.bg*

**Abstract:** *The article discusses the design of experiments using Taguchi method for the impact of 3D printing parameters on dimensional accuracy. It has been shown how to perform Taguchi design using DOE in Minitab. Based on Taguchi design of experimental methodology, or more precisely tolerance, it was found that the key parameters affecting printing accuracy were layer thickness and print speed.*

**Keywords:** *3D print, Design of Experiments, Taguchi method*

### 1. Увод

Тагучи развива идеите на математическата статистика, свързани по-специално със статистическите методи за експериментално проектиране и контрол на качеството. *Методите на Тагучи* (този термин се появява в САЩ, самият той нарича своята концепция "Качествен инженеринг") представляват един от принципно новите подходи за решаване на проблемите с качеството и планирането.

Общите стъпки в метода на планирането на Тагучи са следните:

1. Определяне на целта или по-точно целевата стойност за изпълнение на процеса. Целевата стойност може да бъде минимална или максимална.

2. Определяне на параметрите на планирането на експеримента – параметрите са променливите в процеса, които влияят на целта и могат лесно да бъдат контролирани. Определяне на броя на нивата – увеличаването

на броя на нивата води до увеличаване на броя на експериментите, които трябва да се проведат.

3. Създаване на ортогонален масив, показващ броя и условията за всеки експеримент – изборът на ортогонални масиви се основава на броя на параметрите и нивата на вариация за всеки фактор.

4. Провеждане на експериментите, посочени в завършения ортогонален масив за събиране данни за ефекта върху целта.

5. Пълна анализ на данните, за да се определи ефекта на различните параметри.

В планирането на факторите на Тагучи се вземат предвид само основните ефекти и двуфакторните взаимодействия, а взаимодействията от по-висок ред се приемат за несъществуващи. В допълнение може да се използва метода на априорното ранжиране кои фактори могат да бъдат значими, преди да се извърши планирането.

Ортогоналните масиви на Тагучи са балансирани, за да се гарантира, че всички нива

на всички фактори се разглеждат еднакво. Поради тази причина факторите могат да бъдат оценени независимо един от друг, въпреки фракционирането на дизайна.

Тагучи въвежда няколко забележителни нови начини за разбиране на експеримента, които са много ценни, особено при разработването на продукти в индустриалното инженерство и затова ще разгледаме две от основните му идеи, а именно параметричния дизайн и новата му система за толерантност, която сама по себе си води до използването на опростени техники за статистическа обработка.

Предсказването на резултатите от даден процес, който е под влияние на множество фактори, има за цел да се изучат факторите и тяхното взаимодействие и влиянието от това взаимодействие върху резултата от процеса. Този метод се комбинира с метода на Тагучи, а факторите се класифицират главно в две категории:

- параметри на процеса, които определят целевите стойности и гаранцията на допустимите отклонения (гаранция на спецификация – гаранцията, в която може да варира отклоненията);

- източници на шум – поражда тези отклонения от целевата стойност.

Целта на метода на Тагучи е да се открият настройките на параметрите, при които влиянието на източниците на шум е минимално. Това се постига със систематично вариране на параметрите на процесите, за да се види кога се постига минимално влияние на шумовете.

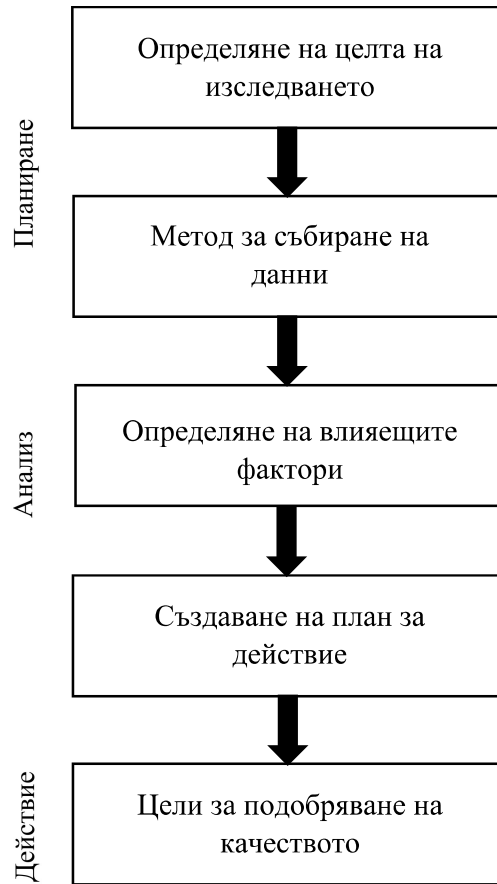
Тагучи пръв свързва този метод с метода на функция на загубите.

Като заключение на метода е осигуряване на качеството на идеята на експеримента, на дизайна и на производството.

## 2. Методика на експеримента

3D печатът, посредством технологията за моделиране на отлагане (FDM), е една от най-разпространените технологии на глобално ниво. Много индустриални приложения са разработени благодарение на тази технология, както и други, съществуващи на пазара, извън отпечатването на пластмасови материали (ABS, PLA) за бързо прототипиране. Има голям напредък в печата на керамика, протези и зъбни импланти, водачи за подготовка на сложни операции, импланти за подмяна на кост, храна, метал и на по-радикални разработки – печатни тъкани, биологични органи, екструдирани на цименти и бижута [3]. Както може да се оцени, има безброй приложения на тази технология.

Параметрите на 3D печат могат да варират в зависимост от използвания софтуер за управление и възможностите на хардуера. Това проучване се основава на модификация на параметрите с помощта на софтуер „FlashPrint“ и принтер “FlashForge Creator Pro 2“.



Фиг.1 Планиране на експеримента

Планирането на експеримента в това проучване преминава през следните етапи:

- Определяне на целта на изследването, което в нашия случай е качествен печат на детайл с отвори чрез 3D принтер по технологията чрез отлагане на материал.

- Определяне на метода за събиране на данни, който в нашия случай е чрез наблюдение и измерване на отворите на отпечатаните образци чрез автоматична координатна измервателна система ReniShaw OMP40, монтирана на машина Haas "VF-2SS".

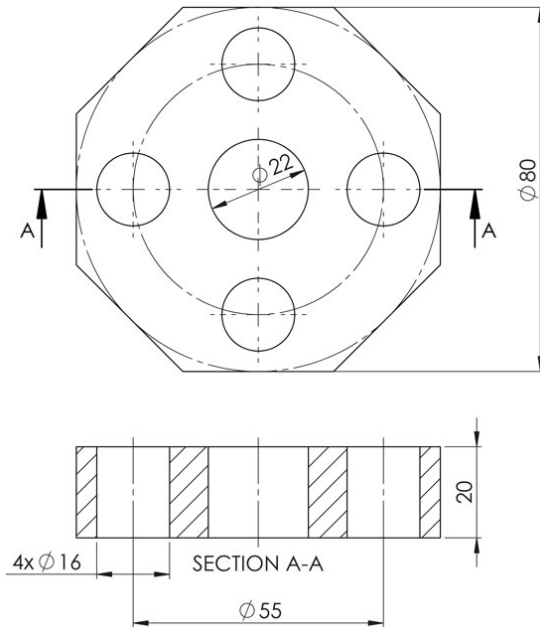
- Извършване на оценка на факторите на 3D печат, които влияят за постигане на точен печат на отворите на модела. В случая

разглеждаме скоростта на печат и височината на слоя.

➤ Извършване на статистическа обработка на получените данни чрез метода на Тагучи. Чрез този метод определяме минималната точка на източниците на шум.

➤ Оценка на получените резултати и елиминиране на въздействието на източниците на шум върху модела за печат.

➤ Фиксиране на цели за подобряване на качеството и намаляване влиянието на източниците на шум.



Фиг.2 Опитен образец

За реализирането на експеримента е изграден 3D модел, показан на фиг. 2. Експерименталният образец е съобразен с последващото измерване с помощта на автоматична измервателна система. Той разполага с 4 отвора  $\phi 16$  и един централен  $\phi 22$  за измерване на отклонението от формата и външната му повърхнина е правилен осмоъгълник, с помощта на която се измерва отклонението по осите X и Y и комбинацията от двете, т.е. ротацията по оста Z на  $45^\circ$ , спрямо осите X и Y. По външната повърхнина ще се ориентира измервателната координатна система, в случая G54. Дебелината от 20мм е избрана така, че да позволи измервания на отклонението от формата по височина, т.е. по оста Z.

Априорно са определени ограниченията (максимална и минимална стойност) на

факторите, влияещи на качеството и точността на печат (табл.1). Факторите, на които се изследва влиянието върху точността, са скорост на печат и дебелина на слоя. В табл. 2 са показани параметрите на 3D принтера, които са постоянни за всички опити, т.е. константни.

Табл.1. Фактори на експеримента

Контролирани фактори	Означение	мерна единица	НИВА		
			1	2	3
Дебелина на слоя	А	mm	0,1	0,35	0,6
Скорост на принтиране	Б	mm/s	10	45	80

Табл.2. Параметри на 3D принтера

Настройка на принтиране	Стойност	мерна единица
Диаметър на дюзата	0,4	mm
Поток	100	%
Оттегляне	1	mm
Температура на леглото	110	$^\circ\text{C}$

Методологията на Тагучи се основава на многофакторния дисперсионен анализ с повторения на опитите. Получените резултати се интерпретират чрез функцията на загубите L и по този начин еднозначно се определя степента на подобрене на качеството на отпечатаните изделия.



Фиг.3 Функция на загубите на Тагучи

Можем да запишем функцията на квадратичната зависимост във вида:

$$L = k(Y - Y_0)^2 \quad (1)$$

където:

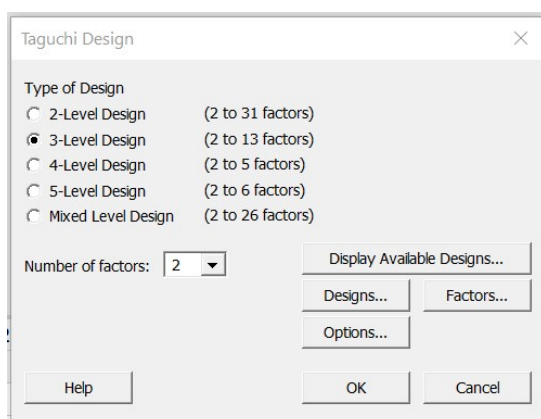
$k$  - коефициент на мащаба;

$Y$  - измерваната стойност на диаметъра на отвора на модела;

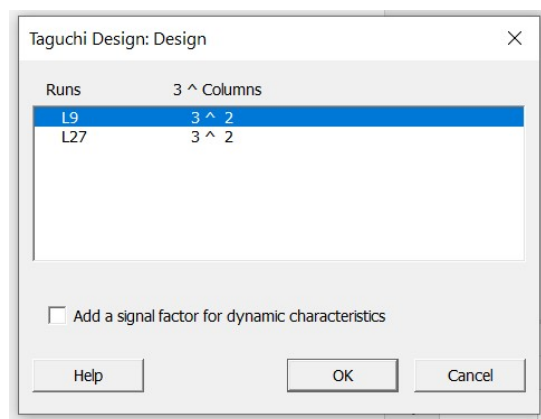
$Y_0$  - номиналната стойност на диаметъра на отвора на модела.

На фиг.3 е показана функцията на загубите на Тагучи, където долната целева стойност и горната целева стойност описват интервала на отклонение на отворите на 3D модела.

С помощта на Minitab е направено планиране по метода на Тагучи. Избран е план L9 с 3 нива на двата фактора (фиг.4 и 5).



Фиг.4 План на Тагучи



Фиг.5 План на експериментите

По метода на Тагучи за планиране е направен ортогонален масив (табл.3). Получени са общо 9 комбинации на експериментите.

Табл.3. Ортогонален масив

№	Фактори	
	А	Б
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bedi, Raman & Sharma, Renu. (2015). Damping studies on fibre-reinforced epoxy polymer concrete using Taguchi design of experiments. International Journal of Materials Engineering Innovation. 6. 10.1504/IJMATEI.2015.069799.
2. Sanchez, Andres & Troncoso-Palacio, Alexander & Troncoso Mendoza, Sonni & Neira, Dionicio. (2016). Application of taguchi experimental design for identification of factors influence over 3D printing time with fused deposition modeling. International Journal of Management Science and Operations Research. 1. 43-48. 10.17981/ijmsor.01.01.06.
3. Sanchez, Andres & Troncoso-Palacio, Alexander & Troncoso Mendoza, Sonni & Neira, Dionicio. (2016). Application of taguchi experimental design for identification of factors influence over 3D printing time with fused deposition modeling. International Journal of Management Science and Operations Research. 1. 43-48. 10.17981/ijmsor.01.01.06.
4. Antony, Jiju. (2006). Taguchi or classical design of experiments: A perspective from a practitioner. Sensor Review. 26. 227-230. 10.1108/02602280610675519.
5. Rowlands, Hefin & Antony, Jiju & Knowles, Graeme. (2000). An application of experimental design for process optimisation. The TQM Magazine. 12. 78-84. 10.1108/09544780010318325.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани по проект BG05M2OP001-1.002-0023 – Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии" на ТУ-София, филиал Пловдив.