

**ДОДАТОК А**  
**АБРОБАЦІЯ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Міністерство освіти і науки України



**NURE**

Харківський національний університет  
радіоелектроніки

## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

**«Автоматизація та приладобудування»**

**«Automation and Development of Electronic Devices»**

**ADED-2023**

**(Випуск 2)**

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitap>



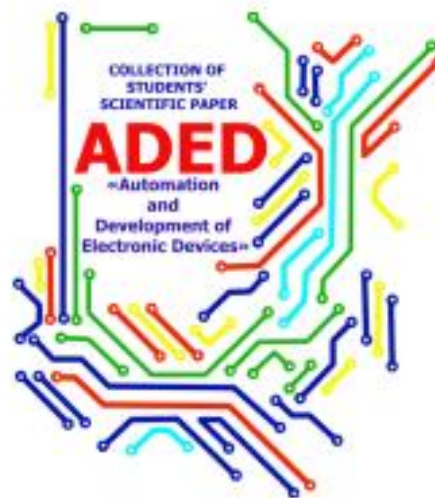
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafedra.kdu.edu.ua>

Харків 2023

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(КІТАР)



**ЗБІРНИК**  
студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
«Automation and Development of Electronic Devices»  
**ADED-2023**  
(Випуск 2)  
[електронне видання]

Харків 2023

## ЗМІСТ

<i>Я.І. Халімонов</i> Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень .....	9
<i>Є.Ю. Гавриков, А.Я. Осман</i> Дослідження технологій виробництва деталей на 3D принтері .....	12
<i>А.С. Андреев</i> QR-коди в науці та техніці .....	17
<i>Ф. Куррота</i> Development of Automated Environmental Control System for Portable Greenway Section .	23
<i>К.К. Стеценко</i> Моделювання BEAM-робота в середовищі TINKERCAD .....	27
<i>О.В. Удовиченко</i> Вплив розвитку штучного інтелекту на комп'ютеризовані та робототехнічні системи ..	30
<i>Б.О. Чеснаков</i> 3D моделювання роботизованої платформи для гуманітарного розмінуванні .....	33
<i>Є.В. Шевченко</i> Розробка кіберфізичної системи моніторингу технологічних процесів на виробництві .	37
<i>Є.О. Єфімік</i> Розроблення концепт макету малогабаритного мобільного робота підвищеної прохідності .....	44
<i>М. Манічкін</i> Аналіз кінематики та розробка моделі розрахунків елементів матриці гомогенних перетворень для зооморфного мобільного робота .....	49
<i>М.М. Моргунов</i> Розробка методу передачі інформації всередині статичного зображення для мобільних роботів .....	55
<i>Є.С. Ключиш</i> Аналіз систем автоматизованого свердління у Industry 4.0 .....	61
<i>О.Д. Юрченко</i> Розроблення системи моніторингу роботи засобів виробництва та персоналу приладобудівного приміщення з використанням ESP32-CAM .....	66
<i>М.О. Бендеберя</i> Розробка алгоритмічно-функціональної моделі робота маніпулятора на базі ABB Robot Studio .....	74
<i>І.В. Балабанов</i> Визначення залежності часу та інтенсивності випромінювання на температуру фотополімерної смоли .....	79
<i>М.Д. Лисун</i> Аналіз кінематик 3D принтерів за технологією FDM/FFF .....	83
<i>С.В. Шматко</i> Аналіз сучасних роботів телеприсутності, як людського помічника .....	87
<i>І.С. Коваленко</i> Перспективи розвитку повітряної робототехніки .....	92
<i>М.С. Лубінець</i> Розроблення методу прокладення траєкторії руху робота-сапера на основі даних від металознавця .....	97

<i>О.О. Рак</i>	
Розробка автоматизованого модуля моніторингу параметрів об'єктів критичної інфраструктури .....	104
<i>О.І. Черненко</i>	
Автоматизація процесу сортування деталей на виробництві .....	109
<i>О.А. Тищенко</i>	
Моделювання пристрою позиціонування вантажного робота .....	114
<i>В.О. Веснянов</i>	
Розроблення інформаційної системи для оптимізації бізнес-процесів закладу харчування .....	121
<i>Ю.А. Бердіук</i>	
Аналіз сучасних автономних роботизованих платформ .....	126
<i>М.В. Звєздіцєв</i>	
Розробка модуля позиціонування сонячних панелей .....	133
<i>Д.Д. Лещєнко</i>	
Моделювання руху маніпулятора робота з використанням динамічної ланки з прямою та зворотною кінематикою .....	138
<i>П.М. Савченко</i>	
Огляд датчиків положення для обладнання, що працює в умовах аварійних підключень електроживлення .....	142
<i>П.М. Савченко</i>	
Створення сучасних систем управління з застосуванням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації .....	148
<i>Є.Р. Васильченко</i>	
Огляд принципів побудови пожежно-охоронної системи .....	153
<i>А.Д. Сєвєський</i>	
Система моніторингу та управління параметрами мікроклімату в офісних приміщеннях .....	159
<i>А.І. Кошєва</i>	
Перспективи розвитку безпілотних систем .....	164
<i>В.І. Фомін</i>	
Використання робототехнічних систем з елементами штучного інтелекту в приладобудуванні .....	171
<i>В.І. Фомін</i>	
Застосування 3D-друку у виробництві та промисловості .....	177
<i>О.В. Чернишєнко</i>	
Оптимізація маршрутів в логістичних мережах виробничого процесу .....	182
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Використання віртуальної та доповненої реальності для навчання та симуляцій у робототехніці .....	188
<i>Р.Р. Шаталюк</i>	
Програмування мікроконтролерів для автоматизації систем .....	193
<i>Т.А. Лихо</i>	
Вибір обладнання для розробки мобільного робота для відеонагляду .....	197
<i>В.О. Александров</i>	
Безпілотні літальні апарати. види, технічні особливості, автоматизація .....	203
<i>С.О. Віницьченко</i>	
Еволюція виробництва: Роль MES-систем у оптимізації та контролі промислових .....	208

процесів на підприємстві .....	
<i>А.В. Готовська</i>	
Підтримка прийняття рішень в технології проектування роботизованого виробничого процесу .....	213
<i>Я.В. Олексич</i>	
Впровадження еgr-систем на виробництві .....	219
<i>М. Коваленко</i>	
Схема керування транспортними роботами на основі візуальних ознак .....	223
<i>В.К. Маковська</i>	
Контейнеризація та оркестрація: DOCKER та KUBERNETES .....	228
<i>Д.Р. Придатко</i>	
Огляд методів розпізнавання об'єктів за допомогою систем технічного зору .....	234
<i>А.А. Більняков</i>	
Розроблення архітектури SCADA-систем гнучкого виробництва та вибір апаратних засобів .....	239
<i>В.С. Головіна</i>	
Розроблення системи керування мобільним пошуково-рятувальним роботом .....	244
<i>Д.В. Мілько</i>	
Дослідження програмного методу визначення відстані до об'єкту за допомогою параметрів камери .....	250
<i>І.А. Манякі</i>	
Аналіз методів автоматичного розпізнавання осіб .....	254
<i>Ю.С. Віпр</i>	
Автоматичне енергоефективне управління освітленістю з використанням кіберфізичних підходів в умовах виробництва .....	259
<i>В.І. Дузьський</i>	
Методи оптимізації керуючих програм для верстатів з ЧПУ .....	264
<i>М.С. Карнов</i>	
Використання бездротових мереж для організації контролю в промисловості .....	269
<i>М.А. Писков</i>	
Алгоритми створення та оптимізації розкладу для загальноосвітніх навчальних закладів .....	275
<i>А.Ю. Губарь</i>	
Веб-додаток для моніторингу та управління запасами в 3D-друкарні .....	281
<i>І.А. Поддубняк</i>	
Аналіз сучасних візуальних SLAM систем в робототехніці .....	286
<i>Д.П. Редько</i>	
Технології транспортування вибухонебезпечних предметів за допомогою роботизованого пристрою .....	292
<i>В.О. Зайків</i>	
Роботизовані системи та їх застосування у інноваційних методах виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів .....	296
<i>К.О. Вадурін, А.С. Шандро</i>	
Розробка структури інформаційно-аналітичної система для збору, обробки та аналізу даних щодо використання енергетичних ресурсів багатопверховою будівлею .....	302
<i>Є.М. Гриценко</i>	
Аналіз систем контролю виготовлення 3D деталей на потоковому роботизованому виробництві .....	309

<i>В.А. Сасін</i>	
Класифікація роботизованих систем для пошуку вибухонебезпечних предметів .....	319
<i>М. Збітний</i>	
Аналіз мобільних робототехнічних платформ для гуманітарного розмінування .....	329
<i>В.А.Старожук В.А., М.А. Вісковатов</i>	
Розробка інтелектуального модуля для моніторингу параметрів на базі ІоТ .....	334
<i>М.В. Толстий</i>	
Аналіз методів намотування дротів на станках з ЧПУ у роботизованому виробництві .	340
<i>В.В. Цешевський</i>	
Огляд сучасних конструктивних схем роботів для переміщення сходими .....	354
<i>О.О. Зибенко</i>	
Інновації та досягнення в електророзробній обробці: формування комп'ютерно-інтегрованого виробництва .....	356
<i>К.О. Левченко</i>	
Моделювання автоматизованого комплексу бетарного сховища сировини .....	361
<i>О.Д. Нисурін</i>	
Комп'ютерні технології та автоматизація у аддитивному виробництві .....	364
<i>Д.В. Пархоменко</i>	
Аналіз систем інжекції з'сдигуальної речовини у технології 3D друку 3DP .....	370
<i>К.С. Скрипник</i>	
Моделювання та розрахунок дозування пластику у шнековому екструдері .....	374
<i>С.Ю. Мірошніченко</i>	
Автоматизована система управління для знешкодження вибухонебезпечних предметів	381
<i>В.Є. Тараненко</i>	
технологія екструзійного 3D друк без підтримок .....	386
<i>Є.О.Зусь, М.Ю. Лучинінов</i>	
Дослідження методів автономного позиціонування та навігації робототехнічних мобільних платформ .....	390
<i>О.С. Пащенко, К.О. Зогуля</i>	
Сучасне виробництво з використанням комп'ютерного управління та інформаційних технологій .....	394
<i>Є.Г. Федосов</i>	
Аналіз методів імітаційного моделювання технологічних процесів складання .....	401
<i>К.С. Редькін</i>	
Локальна навігація мобільного робота в приміщенні .....	404

УДК 539.51

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЧАСУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ФОТОПОЛІМЕРНОЇ СМОЛИ

**I.V. Balabanov**

Харківський національний університет радіоелектроніки  
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14  
E-mail: ihor.balabanov@nure.ua

**Анотація:** у даній роботі розробляється вплив температури фотополімерної смоли на відхилення геометричних розмірів 3D моделі при фотополімерному друці.

**Ключові слова:** фотополімерний друк, LCD 3D-друк, фотополімерні смоли, температура, відхилення.

## DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF RADIATION TIME AND INTENSITY ON THE TEMPERATURE OF PHOTOPOLYMER RESIN

**I.V. Balabanov**

Kharkiv national university of radio electronics  
Ukraine, 61166, Kharkiv, pr. Nauki, 14  
E-mail: ihor.balabanov@nure.ua

**Abstract:** in this work, the influence of photopolymer resin temperature on the deviation of the geometric dimensions of a 3D model in photopolymer printing is studied.

**Keywords:** photopolymer printing, LCD 3D printing, photopolymer resins, temperature, deviation.

Вплив температури на процес фотополімеризації смоли в 3D друкарстві є ключовим аспектом, визначаючим якість та характеристики надрукованих об'єктів. Температура в цьому процесі впливає на ряд параметрів, таких як час полімеризації, розширення матеріалу, та кінцеві механічні властивості виробу. Висока температура може прискорити процес полімеризації, зменшуючи час, необхідний для створення кожного шару. Однак занадто висока температура може також призвести до недостатньої фіксації окремих шарів та порушення форми об'єкта. З іншого боку, низька температура може вповільнити полімеризацію та забезпечити кращу точність друку, оскільки матеріал матиме більше часу для точного висихання та фіксації. Однак низька температура може також впливати на адгезію між шарами та призводити до менш стійких структур. Також, важливо враховувати вплив температури на властивості фотополімерної смоли, такі як її в'язкість та текучість, які можуть варіюватися залежно від температурних умов. Усі ці фактори роблять тему впливу температури фотополімерної смоли на 3D друк цікавою та важливою для подальших досліджень та вдосконалення технології 3D друку.

За темою дослідження впливу технологічних параметрів експонування топології ДП за допомогою фотополімерного 3D друку, вже проводилися дослідження [1-2]. В цих дослідженнях, до моделі залежності чинників які впливають на відхилення розмірів провідникової структури, були включені наступні параметри:

- час засвічення смоли (в межах від 7 с до 20 с);
- інтенсивність випромінювання максимальна (при значеннях 2800 Лм та 1600 Лм);
- довжина хвилі випромінювання (при 435 нм);
- товщина базового шару (при значеннях 20 мкм та 50 мкм).

79

За результатами цих досліджень була побудована модель лінійної регресійна кореляційна впливу параметрів експонування фотополімерної маски на відхилення геометричних розмірів топології. Рівня лінійної регресії наведено в формулі 1.

$$Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3=0,002+0,904x_1+0,134x_2+0,3x_3 \quad (1)$$

де  $Y$  – фактор відхилення геометричних розмірів топології ДП;  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти лінійної регресії впливу параметрів на фактор;  $x_1, x_2, x_3$  – параметри впливу на фактор (а саме:  $x_1$  – коефіцієнт впливу часу експонування;  $x_2$  – коефіцієнт вплив висоти шару маски;  $x_3$  – коефіцієнт впливу інтенсивності випромінювання).

Данна модель дозволяє зрозуміти, які параметри більше впливають на фотополімерну маску та дозволяє спрогнозувати відхилення початково заданих розмірів топології ДП при експонуванні за LCD технологією фотополімерного 3D друку.

Метою досліджень цієї роботи буде доповнення даної моделі, ще одним параметром, який до цього не розглядався, а саме впливом температури фотополімерної смоли на відхилення геометричних розмірів провідникового рисунку. Незалежно від обраної технології фотополімерного 3D друку можливо виділити основні чинники які впливають на відхилення геометричних розмірів моделі. Для зручності їх можливо розділити на дві групи:

1. Параметри налаштування експонування шарів моделі;
2. Фізико-хімічні властивості фотополімерної смоли.

До параметрів налаштування належать вже ті значення які були розглянуті. Фізико-хімічні властивості фотополімерної смоли, обумовлені її хімічним складом, котрі впливають на характеристики моделі та збереження геометричних розмірів в процесі друку. До них відносять:

- коефіцієнт усадки смоли, %;
- довжина хвилі поляризації, нм;
- коефіцієнт теплопровідності, Вт/м<sup>2</sup>.

Якщо більш детально переглянути принцип роботи фотополімерних технологій, то можливо побачити певну закономірність. У всіх цих трьох технологіях використовується випромінювання світла, енергія якого іде не тільки на полімеризацію потрібних ділянок фотополімеру, а і на нагрів самої фотополімерної смоли, а саме на температурний коефіцієнт об'ємного розширення матеріалу (ТКОР). ТКОР матеріалу ( $\alpha$ ) визначає, як змінюється його об'єм при зміні температури. Він вимірюється в одиницях 1/°C (або 1/К) і показує, на скільки одиниць зміниться об'єм матеріалу при зміні температури на 1°C (або 1 К). Математично температурний коефіцієнт об'ємного розширення виражається наступною формулою 2.

$$\alpha = (\Delta V/V_0)/\Delta T \quad (2)$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення,  $\Delta V$  – зміна об'єму матеріалу,  $V_0$  – початковий об'єм матеріалу,  $\Delta T$  – зміна температури.

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення може бути різним для різних матеріалів. Вплив ТКОР в процесі побудови шару моделі, є дуже суттєвим бо при перегріві смоли збільшується коефіцієнт розширення матеріалу. Це відображається на геометричні відхилення шарів моделі, так же сильно як і перезасвітлення шарів, (рис.1).

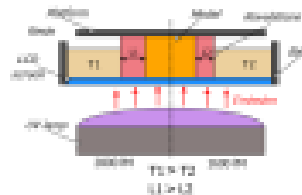


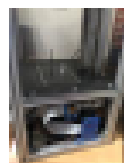
Рис. 1 – Принцип впливу TROP в процесі експонування моделі

Таким чином дослідження температурних впливів в процесі фотополімерного 3D-друку є актуальною задачею.

Виходячи з плану проведення першого етапу досліджень, було створено 28 файлів G-коду, для тестових зразків калібрувального куба (рис. 2). В кожному файлі змінювалися значення параметрів:

- час засвічення смоли: в межах від 7 с до 20 с, з кроком 1 с для кожного випробування;
- висота шару 35 мкм;
- інтенсивність випромінювання максимальна: при значеннях 2800 Лм та 1600 Лм.

Початкова температура фотополімерної смоли до друку в середньому приблизно від 20°C до 22°C. На рис. 2, наведений макет для досліджень та фотополімерна смола Plexiwrite Resin Basic, та надрукований тестовий зразок.



а)



б)



в)



г)

Рис.2 – Інвентар для проведення досліджень

Результати вимірювань першого етапу досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання температури

№	Час засвічення в, с	Інтенсивність випромінювання в, Лм	Час друку моделі	Початкова Температура смоли, °С	Температура нагріту смоли, °С	Відхилення, розмір, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	7	1600	1г. 4см. 53с	20,3	25,2	0,00862
2	8		1г. 9см. 39с	20,6	24,7	0,01104
3	9		1г. 14см. 25с	20,5	25,5	0,01338
4	10		1г. 19см. 11с	21,1	25,8	0,01463
5	11		1г. 23см. 57с	20,4	25,6	0,01673
6	12		1г. 28см. 43с	20,9	26,1	0,01722
7	13		1г. 33см. 29с	21,0	25,9	0,01785
8	14		1г. 38см. 15с	21,5	26,4	0,01831
9	15		1г. 43см. 1с	20,9	26,7	0,01843
10	16		1г. 47см. 47с	21,3	26,7	0,01913
11	17		1г. 52см. 33с	20,6	27,0	0,01954
12	18		1г. 57см. 19с	20,8	27,2	0,01985
13	19		2г. 2см. 5с	20,1	27,3	0,0185
14	20		2г. 6см. 51с	21,2	27,1	0,02189

Продовження таблиці 1

15	7	2800	1r. 4хх. 53с	19,8	25,8	0,00872
16	8		1r. 8хх. 39с	20,5	26,2	0,01026
17	9		1r. 14хх. 25с	21,3	26,5	0,01368
18	10		1r. 19хх. 11с	20,5	26,4	0,01452
19	11		1r. 23хх. 57с	20,4	27,2	0,01685
20	12		1r. 28хх. 43с	21,4	27,6	0,01683
21	13		1r. 33хх. 29с	20,7	27,7	0,01728
22	14		1r. 38хх. 15с	21,8	27,5	0,01775
23	15		1r. 43хх. 1с	20,7	28,2	0,01842
24	16		1r. 47хх. 47с	22,2	28,3	0,019
25	17		1r. 52хх. 33с	21,4	28,6	0,01952
26	18		1r. 57хх. 19с	21,0	28,9	0,02044
27	19		2r. 2хх. 5с	20,0	29,2	0,02208
28	20		2r. 6хх. 51с	20,7	29,4	0,02528

За результатами досліджень можливо зробити наступні висновки [3]:

1) При збільшенні часу експонування шару збільшується температура фотополімерної смоли, через що і збільшуються значення відхилень розмірів моделі. Це може бути пов'язано з тим що, при збільшенні часу експонування збільшується час друку моделі, тим самим збільшує час впливу УФ-випромінювання на фотополімерну смолу та її нагрів та значення ТКOP.

2) Температура нагріву фотополімерної смоли, більшою мірою залежить не тільки від часу друку, а від інтенсивності УФ-випромінювання. Це можливо підвититися через різницю між початковою температурою фотополімерної смоли та температурою після друку. При зміні інтенсивності випромінювання нагрів фотополімера більший.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Nevlyudov I., Razumov-Fryziuk I., Nikitin D., Blyzniuk D., Strelets R. Technology for creating the topology of printed circuit boards using polymer 3D masks // № 1 (15) (2021): Сучасний стан наукових досліджень і технологій у промисловості ст. 120-131. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.120>
2. Nevlyudov I., Blyzniuk D., Gurin D., Nikitin D., Razumov-Fryziuk E., Strelets R. Technology of laser exposure of topology of printed boards // №27 2021 International independent scientific journal VOL. 1 Ст 27
3. SPSS Statis for Dummies, 4th Edition /by Jesus Salcedo and Keith McCormick.[Book]. Published by: John&Sons.Inc. 2020. P. 444.
4. Nevlyudov, I., Razumov-Fryziuk, I., Yevsieiev, V., Nikitin, D., Blyzniuk, D., & Strelets, R. (2022). Cost estimation of photopolymer resin for 3D exposure of circuit boards. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(2(64)), 43–49. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.256338>
5. Attar, H., & et al. (2022). Control System Development and Implementation of a CNC Laser Engraver for Environmental Use with Remote Imaging. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 9140156, <https://doi.org/10.1155/2022/9140156>.

**Науковий керівник:** Нікітін Дмитро Олександрович, асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

**ДОДАТОК Б**  
**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання температури

№	Час засвічення, с	Інтенсивність випромінювання, Лм	Час друку моделі	Початкова Температура смоли, °С	Температура нагріву смоли, °С	Відхилення, розмір, мм
1	7	1600	1г. 4хв. 53с	20,3	25,2	0,00862
2	8		1г. 9хв. 39с	20,6	24,7	0,01104
3	9		1г. 14хв. 25с	20,5	25,5	0,01338
4	10		1г. 19хв. 11с	21,1	25,8	0,01463
5	11		1г. 23хв. 57с	20,4	25,6	0,01673
6	12		1г. 28хв. 43с	20,9	26,1	0,01722
7	13		1г. 33хв. 29с	21,0	25,9	0,01785
8	14		1г. 38хв. 15с	21,5	26,4	0,01831
9	15		1г. 43хв. 1с	20,9	26,7	0,01843
10	16		1г. 47хв. 47с	21,3	26,7	0,01913
11	17		1г. 52хв. 33с	20,6	27,0	0,01954
12	18		1г. 57хв. 19с	20,8	27,2	0,01985
13	19		2г. 2хв. 5с	20,1	27,3	0,0185
14	20		2г. 6хв. 51с	21,2	27,1	0,02189
15	7	2800	1г. 4хв. 53с	19,8	25,8	0,00872
16	8		1г. 9хв. 39с	20,5	26,2	0,01026
17	9		1г. 14хв. 25с	21,3	26,5	0,01368
18	10		1г. 19хв. 11с	20,5	26,4	0,01452
19	11		1г. 23хв. 57с	20,4	27,2	0,01685
20	12		1г. 28хв. 43с	21,4	27,6	0,01683
21	13		1г. 33хв. 29с	20,7	27,7	0,01728
22	14		1г. 38хв. 15с	21,8	27,5	0,01775
23	15		1г. 43хв. 1с	20,7	28,2	0,01842
24	16		1г. 47хв. 47с	22,2	28,3	0,019
25	17		1г. 52хв. 33с	21,4	28,6	0,01952
26	18		1г. 57хв. 19с	21,0	28,9	0,02044
27	19		2г. 2хв. 5с	20,0	29,2	0,02208
28	20		2г. 6хв. 51с	20,7	29,4	0,02528

Таблиця 3.3 – Зміни температури фотополімерної смоли

№	Інтенсивність випромінювання, Лм	Початкова Температура смоли, °С	Температура нагріву смоли, °С	Зростання температури, °С	Середнє зростання температури, °С
1	1600	20,3	25,2	4,9	5,4
2		20,6	24,7	4,1	
3		20,5	25,5	5	
4		21,1	25,8	4,7	
5		20,4	25,6	5,2	
6		20,9	26,1	5,2	
7		21,0	25,9	4,9	
8		21,5	26,4	4,9	
9		20,9	26,7	5,8	
10		21,3	26,7	5,4	
11		20,6	27,0	6,4	
12		20,8	27,2	6,4	
13		20,1	27,3	7,2	
14		21,2	27,1	5,9	
15	2800	19,8	25,8	6	6,8
16		20,5	26,2	5,7	
17		21,3	26,5	5,2	
18		20,5	26,4	5,9	
19		20,4	27,2	6,8	
20		21,4	27,6	6,2	
21		20,7	27,7	7	
22		21,8	27,5	5,7	
23		20,7	28,2	7,5	
24		22,2	28,3	6,1	
25		21,4	28,6	7,2	
26		21,0	28,9	7,9	
27		20,0	29,2	9,2	
28		20,7	29,4	8,7	

Таблиця 3.4 – Відхилення розмірів при різних значеннях температури

№	Час засвічення, с	Температура нагріву смоли, °С	Відхилення, розмір, мм	№	Час засвічення, с	Температура нагріву смоли, °С	Відхилення, розмір, мм
1	7	10	0,00738	41	7	30	0,00998
2	8		0,00976	42	8		0,01233
3	9		0,01148	43	9		0,01428
4	10		0,01281	44	10		0,01517
5	11		0,01479	45	11		0,01683
6	12		0,01515	46	12		0,017
7	13		0,01602	47	13		0,01797
8	14		0,01626	48	14		0,01834
9	15		0,01654	49	15		0,01937
10	16		0,01697	50	16		0,01968
11	7	15	0,00762	51	7	35	0,01072
12	8		0,00894	52	8		0,01198
13	9		0,01073	53	9		0,01334
14	10		0,01247	54	10		0,01507
15	11		0,01477	55	11		0,01548
16	12		0,01508	56	12		0,01613
17	13		0,01539	57	13		0,01711
18	14		0,01575	58	14		0,01744
19	15		0,01649	59	15		0,018
20	16		0,01716	60	16		0,01876
21	7	20	0,00901	61	7	40	0,01041
22	8		0,01099	62	8		0,01274
23	9		0,01238	63	9		0,01466
24	10		0,01562	64	10		0,01593
25	11		0,01594	65	11		0,01877
26	12		0,01679	66	12		0,01901
27	13		0,01712	67	13		0,01987
28	14		0,01754	68	14		0,0211
29	15		0,018	69	15		0,02129
30	16		0,01852	70	16		0,02193
31	7	25	0,01026	71	7	45	0,01121
32	8		0,01257	72	8		0,0136
33	9		0,01489	73	9		0,01492
34	10		0,01601	74	10		0,01677
35	11		0,01617	75	11		0,01914
36	12		0,01756	76	12		0,01928
37	13		0,01811	77	13		0,01969
38	14		0,01972	78	14		0,02091
39	15		0,02053	79	15		0,02185
40	16		0,0212	80	16		0,02272

Таблиця 3.5 – Різниця відхилень розмірів залежно від температури

№	Час експонування, с	Відхилення при температурі 10°C	Відхилення при температурі 15°C	Відхилення при температурі 20°C	Відхилення на першому етапі досліджень, мм	Середнє значення відхилень при температурі від 10°C до 20°C	Різниця у вимірюваннях відхилень, мм
1	7	0,00738	0,00762	0,00901	0,00862	0,00800	0,000617
2	8	0,00976	0,00894	0,01099	0,01104	0,00989	0,001143
3	9	0,01148	0,01073	0,01238	0,01338	0,01153	0,00185
4	10	0,01281	0,01247	0,01562	0,01463	0,013633	0,000997
5	11	0,01479	0,01477	0,01594	0,01673	0,015166	0,001563
6	12	0,01515	0,01508	0,01679	0,01722	0,015673	0,001547
7	13	0,01602	0,01539	0,01712	0,01785	0,01617	0,001673
8	14	0,01626	0,01575	0,01754	0,01831	0,01651	0,001793
9	15	0,01654	0,01649	0,018	0,01843	0,01701	0,00142
10	16	0,01697	0,01716	0,01852	0,01913	0,01755	0,00158

**ДОДАТОК В**  
**ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ**

