



**Международная научно-практическая конференция  
«Материаловедение, формообразующие технологии и  
оборудование 2026» (ICMSSTE 2026)**

**26-29 мая 2026 г. Ялта, Россия**

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧАТИ,  
СТРУКТУРЫ И ПЛОТНОСТИ  
ЗАПОЛНЕНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕТГ-ПЛАСТИКА  
ПРИ FDM-ПЕЧАТИ**

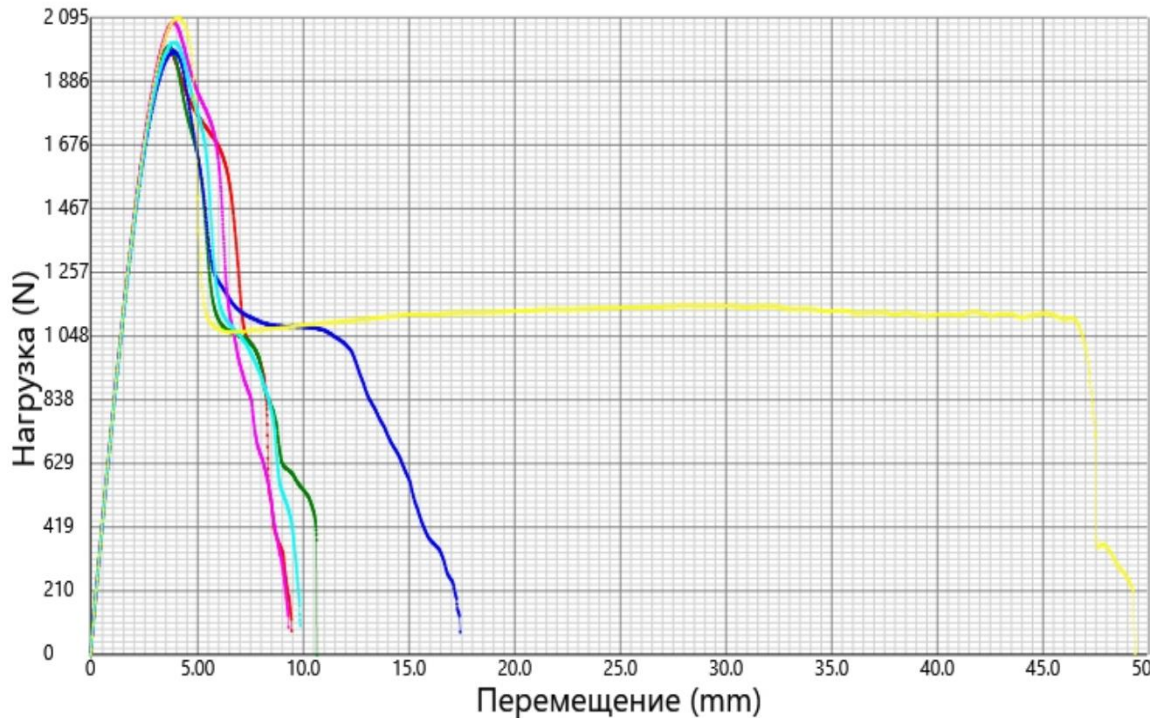
**Автор: Былеев Александр Сергеевич  
Псковский государственный университет, Псков, Россия  
E-mail: [a.byleev@pskgu.ru](mailto:a.byleev@pskgu.ru)**



# Влияние температуры печати

Образцы изготавливались по ГОСТ 11262-2017 (тип 1А), печатались при температурах 220, 225, 230, 235, 240 и 245 °С, 100% заполнение, структура «линии».

**Таблица 1 – Результаты испытаний при разных температурах печати**



Температура, °С	Макс. нагрузка, Н (среднее значение)	Предел прочности $\sigma$ , МПа	Относительное удлинение, %
220	2000	50	12,69
225	2000	50	14,27
230	1990	49,75	23,33
235	2080	52	12,49*
240	1990	49,75	21,33
245	2090	52,25	69,20

**Рисунок 1 – График зависимости нагрузки от перемещения для образцов, напечатанных при разных температурах**

# Влияние типа внутренней структуры заполнения



Таблица 2 – Характеристики образцов с разной структурой заполнения

№	Структура заполнения	Масса, г	Время печати, мин	F_max, Н (средн.)	$\sigma$ , МПа
1	Треугольник	7,707	29	1030	25,75
2	Прямолинейный	7,723	30	974	24,35
3	Сетка	7,608	29	927	23,18
4	Линии	7,786	29	999	24,98
5	Кубический	7,662	29	1050	26,25
6	Гироид	7,634	42	1050	26,25
7	Медовые соты	8,123	45	1070	26,75
8	3D-соты	7,446	38	929	23,23
9	Кривая Гильберта	7,712	41	964	24,1
10	Хорды Архимеда	7,755	30	970	24,25
11	Перекрестная решетка	7,555	38	931	23,28
12	Спиральная октаграмма	7,715	31	883	22,08

При постоянной температуре 245 °С и плотности заполнения 30% были напечатаны образцы с 12 типами внутренней структуры.

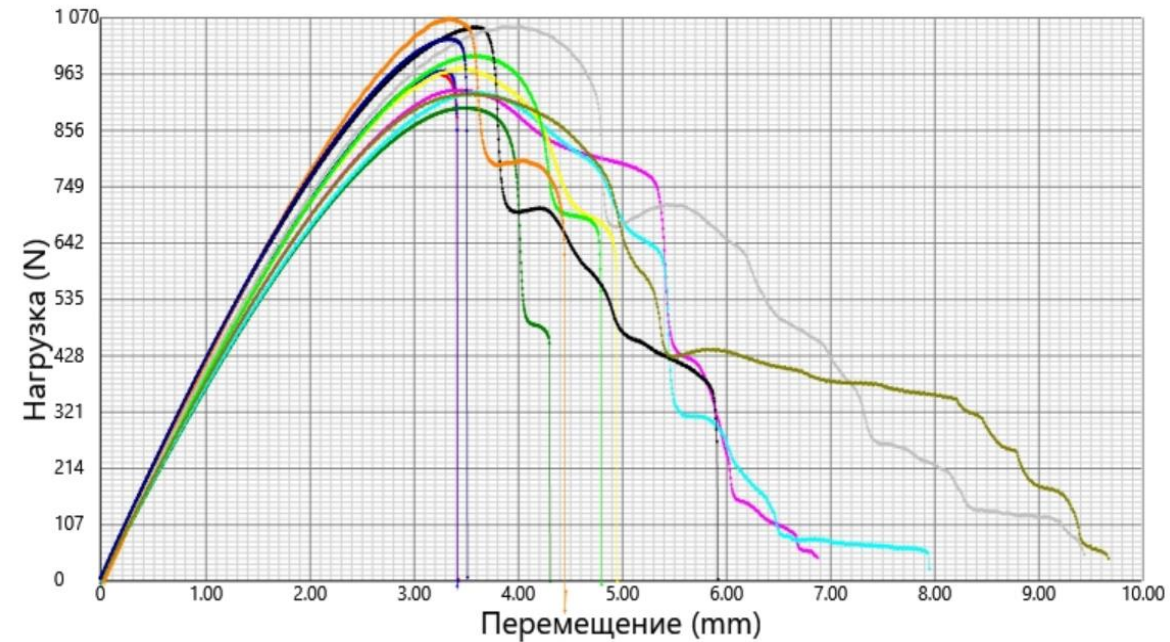
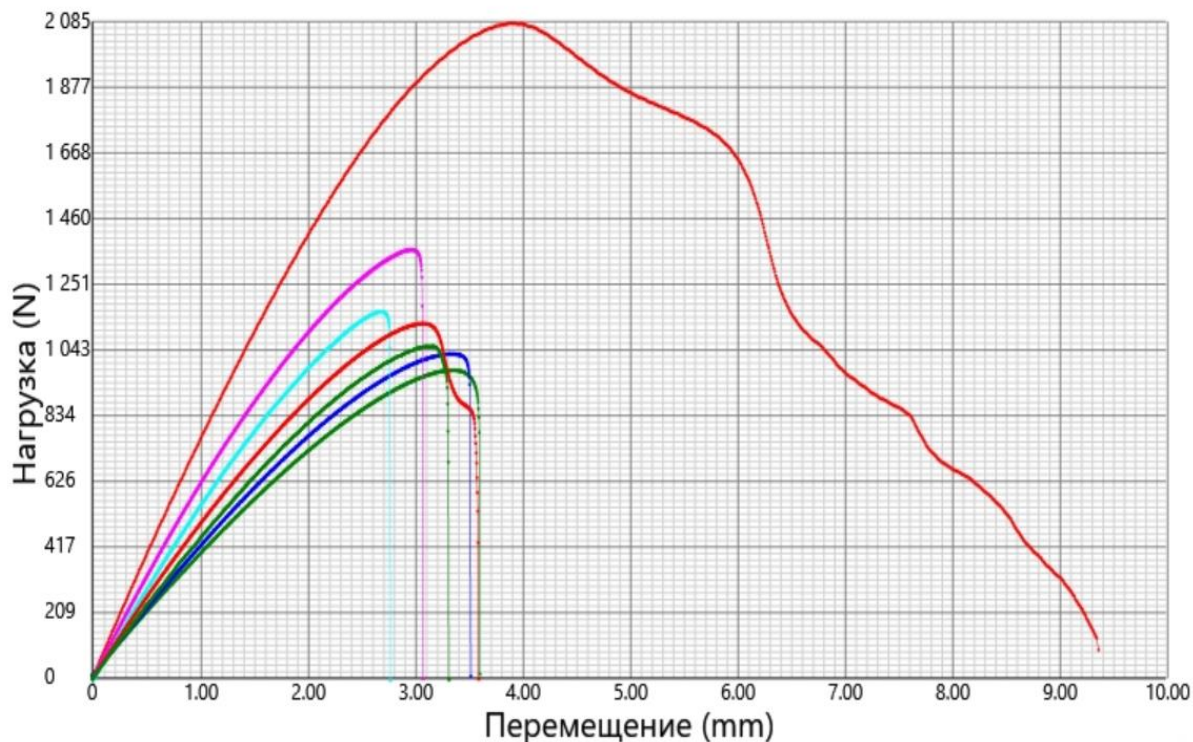


Рисунок 2 – График зависимости нагрузки от перемещения для разных структур



# Влияние плотности заполнения

Образцы с плотностью заполнения 15, 30, 45, 60, 75, 85 и 100% печатались при температуре 245 °С со структурой «треугольник»



**Рисунок 3 – График зависимости нагрузки от перемещения при разном процентном заполнении образцов**

**Таблица 3 – Результаты измерений образцов с разной плотностью заполнения (структура «треугольник»)**

Плотность, %	Масса, г	Время печати, мин	F_max, Н	$\sigma$ , МПа	Относительное удлинение, %
15	6,669	25	934	23,35	4,47
30	7,707	29	1030	25,75	4,71
45	8,765	32	1050	26,25	4,39
60	9,758	36	1130	28,25	4,79
75	10,658	39	1210	30,25	3,87
85	11,348	41	1360	34	4,11
100	12,022	40	2080	52	12,49



## Выводы

- 1. Температура печати** существенно влияет на пластичность PETG-пластика, а предел прочности меняется незначительно. Оптимальная температура – 245 °С ( $\sigma = 52,25$  МПа, удлинение 69,2%). В диапазоне 220–240 °С относительное удлинение снижается в 3...5 раз, а прочность практически не изменяется.
- 2. Тип внутренней структуры заполнения** (при 30% плотности) не является критическим фактором: максимальная разница по прочности между разными структурами составляет 17,5%, время печати меняется в пределах 55%. Структуру можно подбирать исходя из минимального времени печати и/или расхода материала.
- 3. Плотность заполнения** – ключевой параметр. Для получения максимальной прочности необходимо 100% заполнение. Снижение заполнения до 85% даёт снижение прочности на 35 % от максимальной, дальнейшее снижение нецелесообразно для нагруженных деталей.
- 4. Полученные количественные зависимости** могут быть использованы при проектировании деталей из PETG-пластика, работающих в условиях растяжения.

### **Перспективы дальнейших исследований:**

- изучение влияния скорости печати и высоты слоя на прочность;
- исследование композитных пластиков (PETG с углеродным волокном и др.);
- испытания при повышенных и пониженных температурах эксплуатации;
- анализ усталостных характеристик.



# Спасибо за внимание!

Былеев Александр Сергеевич  
Псковский государственный университет, Псков, Россия  
E-mail: [a.byleev@pskgu.ru](mailto:a.byleev@pskgu.ru); [byleev@mail.ru](mailto:byleev@mail.ru)