

УДК 004.94

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ 3D-ПЕЧАТИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ANSYS ADDITIVE PRINT

**И. В. СУДЬКО**

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. Ф. ЯНУШКЕВИЧ)*

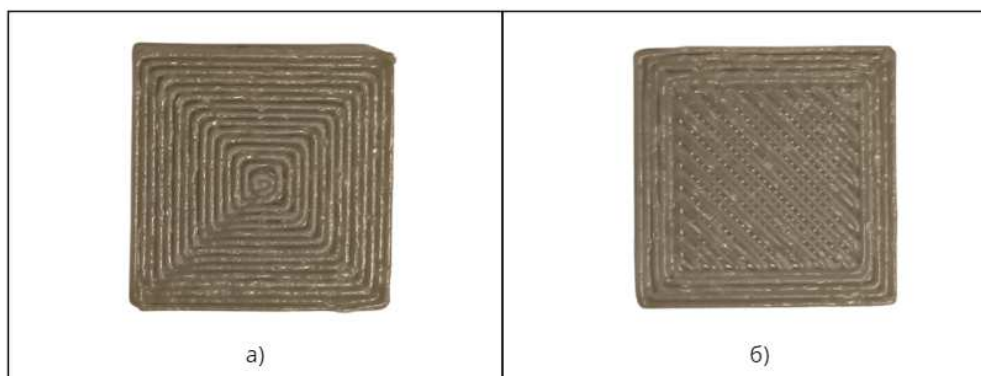
*В статье описаны проблемы деформации детали в процессе 3D-печати, возможность оптимизации процессов печати при помощи программного обеспечения ANSYS Additive Print и роли компьютерного моделирования в аддитивных технологиях.*

**Ключевые слова:** моделирование, автоматизация, 3D-печать.

3D-печать стала важной и востребованной технологией, которая нашла широкое применение в различных сферах жизни человека. Данная технология является полной противоположностью традиционным субтрактивным методам, таких как: фрезерование, сверление, шлифовка и т. д. которые основаны на удалении материала с заготовки для получения желаемой формы и размера детали [1]. В случае 3D-печати объект создается с нуля, данный метод производства позволяет создавать физические объекты на основе цифровых 3D-моделей за счёт последовательного наслаивания материала, повторяющего контуры цифровой модели. Одним из ключевых преимуществ 3D-печати является возможность быстрого прототипирования моделей, что сокращает временные и финансовые затраты на проектирование и производство.

Однако в процессе печати могут возникать различные дефекты и процессы, такие как деформации и внутренние напряжения. Эти проблемы чаще всего приводят к искажению геометрии готовых изделий и ухудшению их механических свойств. Деформации и напряжения в деталях возникают вследствие неоднородного теплового воздействия и неравномерного охлаждения при наложении слоёв в процессе печати, что особенно характерно для металлов и термопластов. Такие явления могут серьёзно повлиять на прочность, геометрию и внутреннюю структуру изделия, а также увеличить расходы на производство, если потребуется повторная печать или дополнительная обработка.

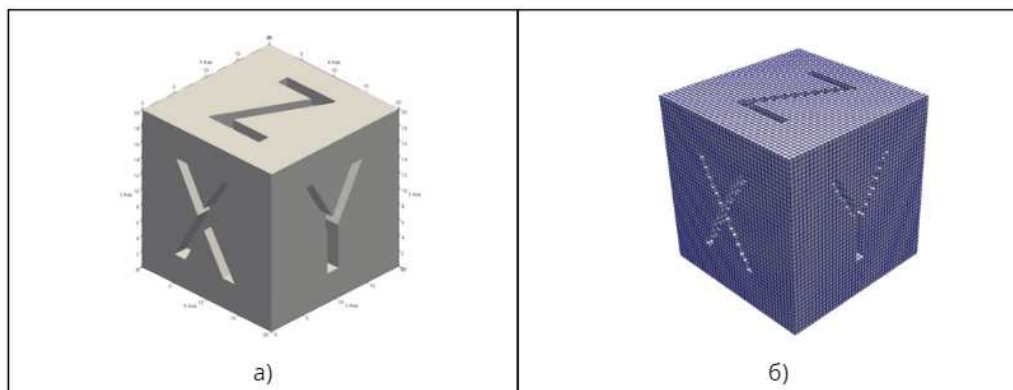
Для того чтобы минимизировать возникновение подобных дефектов и повысить качество готовых изделий, необходимо тщательно подходить к выбору параметров 3D-печати [3]. Основными параметрами, которые влияют на процесс печати и требуют настройки, являются: температура экструзии и охлаждения заготовки, скорость подачи материала, геометрические параметры слоёв, а также плотность и форма заполнения. Слишком высокая или низкая температура экструзии материала может привести к образованию микротрещин или недостаточной адгезии слоёв, что ухудшает механические характеристики готового изделия и делает его менее прочным [5]. Слишком быстрая печать приводит к неравномерному распределению материала, что может привести к деформациям в виде пропусков слоёв и появлению неоднородной внутренней структуры изделия, в то время как слишком медленная скорость печати приводит к деформациям в виде наплывов, а также к неэффективному использованию оборудования и увеличению времени на производство [4].



**Рисунок 1. – Пример дефектов в процессе 3D-печати:  
а – переэкструзия; б – недоэкструзия**

Для решения задач по подбору необходимых параметров и оптимизации процесса печати широко применяются методы компьютерного моделирования. Одним из самых мощных инструментов в этой области является программное обеспечение ANSYS Additive Print, которое предоставляет инженерам и технологам возможность тщательно анализировать и прогнозировать возможные проблемы, возникающие в процессе 3D-печати. ANSYS Additive Print позволяет моделировать термические процессы, возникающие в ходе аддитивного производства, предсказывать возможные деформации и напряжения, а также выявлять проблемные участки ещё до начала процесса печати. Программа способна самостоятельно анализировать данные, полученные в процессе моделирования, для создания модели оптимальной для печати.

Для проведения эксперимента по оптимизации параметров печати была выбрана модель тестового куба с гранями длиной 20 миллиметров.



**Рисунок 2. – а – STL модель оптимизируемой детали;  
б – гексаэдральная сетка, используемая для моделирования**

Следующим шагом является создание задачи моделирования теплового процесса и механического напряжения, возникающие в ходе печати. На каждом этапе печати материал подвергается нагреву и охлаждению, что приводит к образованию тепловых градиентов. Компьютерное моделирование позволяет точно предсказать возникновение этих эффектов и скорректировать параметры печати [2]. Программное обеспечение моделирует влияние механических нагрузок, возникающих при наложении слоёв, что помогает избежать образования внутренних дефектов и повысить качество конечного изделия.

Для создания задачи необходимо задать параметры моделирования и печати, а также физические свойства печатаемой детали. В параметрах моделирования указывают необходимый тип моделирования, количество используемых вычислительных ресурсов, точность и размер сетки, а также необходимые выходные данные. Параметры печати включают в себя температуру рабочей платформы, скорость подачи материала, высоту слоя, время охлаждения между слоями, а также траекторию движения печатающей головки и т.д. Для каждого материала необходимо задать такие физические свойства, как теплопроводность, коэффициент термического расширения, удельная теплоёмкость и модуль упругости и т.д. Эти свойства определяют, как материал будет вести себя во время печати. После заполнения всех необходимых параметров можно запускать моделирование для получения необходимых данных.

По завершению процесса моделирования программа выдает ряд файлов и документов, которые указывают на различные аспекты анализа и помогают оценить результаты. Выходные данные включают отчёты о деформациях, напряжениях и других физических параметрах, которые были рассчитаны в ходе симуляции. Каждый файл представляет собой детализированный набор данных, отражающий поведение материала и его реакцию на заданные условия печати, что позволяет проводить всесторонний анализ возможных дефектов и отклонений.

Основным файлом является отчёт о деформациях, который предоставляет собой визуализацию и количественные данные по возможным изменениям модели. В процессе аддитивного производства материал может деформироваться под воздействием разности температур, что приводит к изменению геометрии детали. Программа моделирования показывает в каких именно областях деформации наиболее значительны и как они могут повлиять на точность готового изделия. Такой анализ позволяет скорректировать параметры печати или внести изменения в конструкцию детали до начала реального производства. Так же по завершении моделирования, программа составила оптимизированную STL модель с учетом всех параметров и расчетов.

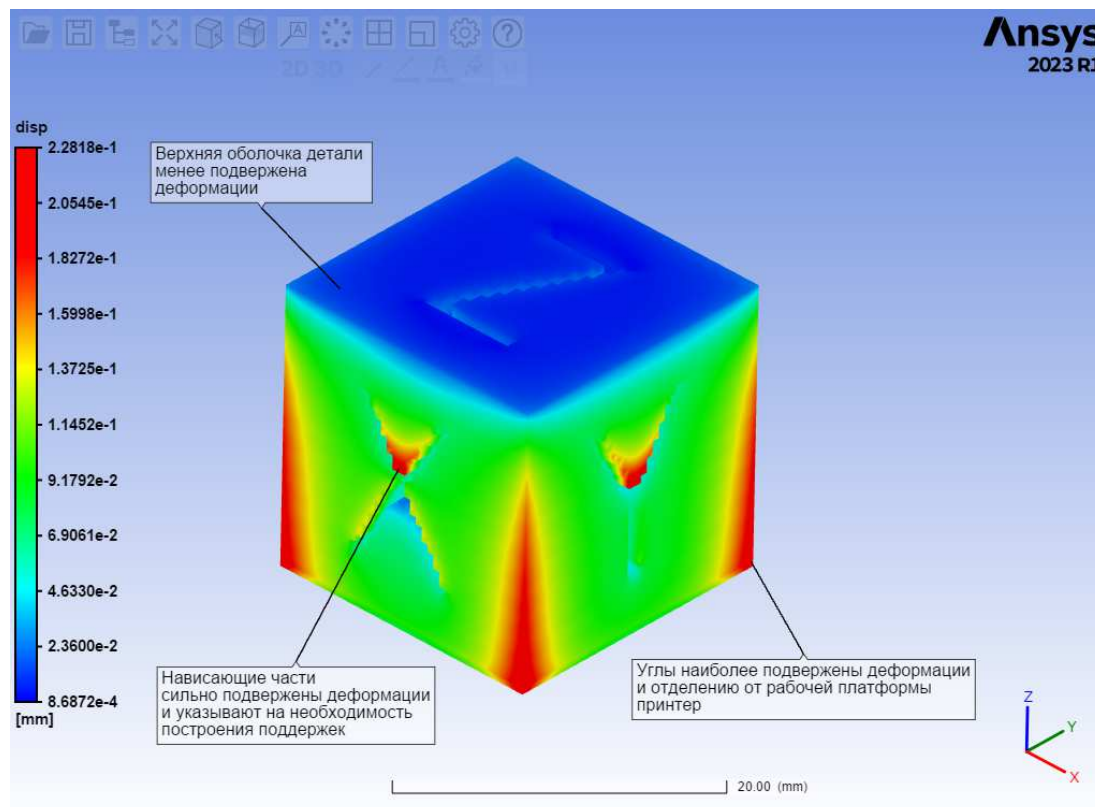


Рисунок4. – Результат моделирования деформации модели

Использование компьютерного моделирования значительно повышает точность и надёжность 3D-печати, минимизируя количество дефектов и повышая качество готовых изделий. Оптимизация параметров печати, моделирование деформации и анализ других процессов позволяют сократить время на настройку оборудования и устранение дефектов, что особенно важно в условиях массового производства и создании высокоточных деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Преображенский Ю. П. Проблемы компьютерного моделирования физических процессов // Современные инновации в науке и технике. – 2019. – С. 276-279.
2. Трошин А. А., Захаров О. В. Обзор технологических возможностей FDM-3D принтеров // Современные материалы, техника и технологии. – 2020. – №. 1 (28). – С. 61-65.
3. Galloway M. et al. Implementation of nozzle motion for material extrusion additive manufacturing in Ansys Fluent //Virtual and Physical Prototyping. – 2024. – Т. 19. – №. 1. – С. e2397816.
4. Соловьев, С. В. Исследование энергоэффективности FDM 3D принтера / С. В. Соловьев, К. К. Лобко, В. Ю. Черкес // Проблемы минерально-сырьевого комплекса глазами молодых ученых, 2023. – С. 112-117.
5. Miazio Ł. Impact of print speed on strength of samples printed in FDM technology //Agricultural Engineering. – 2019. – Т. 23.