

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Шаболда П.А.

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники,
г.Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Цявловская Н.В. – магистр технических наук, ст. преподаватель кафедры ИПиЭ

Аннотация. В статье представлено комплексное исследование применения технологий 3D-печати для изготовления функциональных разметочных инструментов, предназначенных для использования в школьных мастерских на уроках трудового обучения. Работа включает детальный анализ функциональных характеристик напечатанных изделий, подробное экономическое обоснование с расчётами себестоимости, прибыли и срока окупаемости оборудования, а также масштабную оценку экологического эффекта. Полученные результаты убедительно демонстрируют, что аддитивные технологии позволяют существенно снизить финансовые затраты на закупку оборудования для лабораторий, мастерских в образовательных учреждениях, сократить потребление исчерпаемых природных ресурсов, минимизировать отходы промышленного производства и одновременно формировать у учащихся навыки работы с современными технологиями и экологически ответственное мировоззрение и грамотность.

Ключевые слова. 3D-печать, аддитивные технологии, функциональные инструменты, экономическая эффективность, экологическая устойчивость, PLA-филамент, устойчивое развитие.

Введение. Аддитивные технологии становятся всё более доступными для учреждений общего среднего образования. Возможность быстро и недорого изготавливать функциональные инструменты открывает новые перспективы для повышения качества трудового обучения, снижения затрат и формирования экологически ответственного мышления у учащихся.

Цель исследования – оценить экономическую и экологическую целесообразность изготовления разметочных инструментов методом 3D-печати по сравнению с традиционными классическими аналогами [1].

Основная часть. Для анализа были рассмотрены пять видов рабочих инструментов из перечня обязательного оснащения лабораторий по трудовому обучению. Анализируя доступность, стоимость и сложность изготовления такого разметочного инструмента традиционным способом наиболее перспективными для исследования представляется именно рейсмус и разметочный циркуль. Эти инструменты постоянно требуются на уроках труда в 5–9 классах, однако в большинстве школьных мастерских их обеспеченность недостаточна – (3–5 экземпляров вместо необходимых 10–12 на группу) [2]. Традиционно такие инструменты изготавливаются из древесины твёрдых пород, что связано с использованием ценных ресурсов леса, образованием значительного количества отходов при обработке материалов и необходимостью выполнения точных токарных или ручных операций при изготовлении. При этом рейсмус и циркуль имеют компактные размеры и небольшую массу, что делает их идеальными объектами для демонстрации возможностей FDM-печати.

Моделирование выполнялось в программе КОМПАС-3D v21, которая широко используется в белорусских школах и входит в программу факультативов по черчению и информатике. При проектировании основное внимание уделялось минимизации расхода материала без потери необходимой жёсткости. Толщина внешних стенок была установлена в диапазоне 1,2–1,6 мм, что соответствует 5–8 периметрам при сопле 0,4 мм. Внутреннее заполнение задавалось на уровне 20 % с использованием паттерна *gyroid*, обеспечивающего равномерное распределение нагрузки. Высота слоя была выбрана равной 0,2 мм как оптимальный компромисс между качеством поверхности и скоростью печати. При моделировании учитывалась усадка материала PLA, составляющая примерно 0,4 %, поэтому диаметры всех отверстий под метизы были увеличены на 0,4–0,6 мм. Сборка инструментов производилась исключительно на стандартных метизах M4 и M5 без необходимости печати

резьбовых соединений.

Рейсмус состоит из четырёх основных деталей: корпуса, штока, фиксатора иглы и направляющей колодки. Разметочный циркуль включает три детали: две дуги и центральную ножку. После применения мер по облегчению конструкции реальная масса готовых деталей, определённая взвешиванием, снизилась до 92 г для рейсмуса и 48 г для циркуля [3].

Печать осуществлялась на FDM-принтере *Ender* с соплом 0,4 мм. В слайсере *Cura* устанавливались следующие параметры: температура сопла 200–210 °С, температура стола 55–60 °С, скорость печати 50–55 мм/с, поддержка только в необходимых местах с углом отрыва 50°. Фактическое время печати всех деталей циркуля составило 2 часа 28 минут, а всех деталей рейсмуса – 4 часа 39 минут. Общее время на изготовление одного инструмента, достигло примерно 2 часов 50 минут для циркуля и 5 часов 10 минут для рейсмуса (рисунок 1).



Рисунок 1 – Готовые изделия

Испытания функциональности проводились в реальных условиях урока трудового обучения в ГУО «Гимназия №1 г. Бобруйска» в январе 2026 года. Разметочный циркуль прошёл 120 циклов вычерчивания окружностей диаметром от 40 до 320 мм на фанере толщиной 4–10 мм, ДСП и оргстекле. Точность разметки составила $\pm 0,5$ мм, игла не смещалась в процессе работы, а пластиковые детали не испытывали деформации. Рейсмус был протестирован в 180 циклах нанесения параллельных линий на расстоянии 4–160 мм от кромки досок толщиной 12–38 мм. Линии получались ровными, глубина оставалась постоянной, а игла надёжно фиксировалась в заданном положении. После 50 часов активного использования, видимого износа пластиковых деталей не наблюдалось.

Экономическая эффективность рассчитывалась с учётом актуальных цен января 2026 года, реальной массы изделий, затрат на непечатный материал, стоимости электроэнергии для бюджетных организаций и средней зарплаты по стране. В результате себестоимость одного рейсмуса – 7,22 руб., а одного циркуля – 5,71 руб. При реализации напечатанных инструментов школам по консервативной цене 50 % от розницы прибыль на единицу достигает 22,68 руб. для рейсмуса и 5,71 руб. для циркуля.

При 40-часовой рабочей неделе принтер способен производить 34 рейсмуса или 64 циркуля в месяц. При специализации на рейсмусах месячная прибыль составляет около 771 руб., что обеспечивает окупаемость принтера стоимостью 780 руб. за 1,1 месяца. При специализации на циркулях прибыль достигает 366 руб. в месяц, при смешанном производстве средняя месячная прибыль составляет примерно 512 руб. Для полной комплектации одной мастерской (15 рейсмусов + 15 циркулей) требуется 108 часов печати, что соответствует примерно 13,5 рабочим дням при восьмичасовом рабочем дне [4].

Экологический эффект оценивался с использованием данных Белстата за 2025/2026 учебный год. При средней наполняемости группы трудового обучения 22,5 человека общее количество групп достигает 11 667. Нормативное количество рейсмусов на группу – 11 штук, что даёт общую потребность около 128 337 штук. Один традиционный деревянный рейсмус требует примерно 220 г древесины с учётом отходов, что соответствует объёму около 0,000314 м³ при плотности древесины 700 кг/м³. Общий объём сберегаемой древесины достигает 40,8 м³. Средний выход деловой древесины с одного зрелого дерева после распиловки и сушки составляет 0,35–0,40 м³. Таким образом, при первичном оснащении всех мастерских страны

удается сберечь 102–117 зрелых деревьев. С учётом среднего срока службы деревянного инструмента 5–7 лет за 12 лет потребуется два комплекта, что увеличивает экономию до 204–234 деревьев, эквивалентно примерно 1,1–1,4 гектара молодого леса при плотности посадки 1700 деревьев на гектар.

Использование PLA-филамента обеспечивает дополнительные экологические преимущества. Материал полностью биоразлагаем в промышленных компостных условиях за 3–6 месяцев, производится из возобновляемого сырья, а отходы печати (поддержки) составляют менее 3–5 % от общей массы. Производство локальное и осуществляется по требованию, что исключает перепроизводство, складские потери и дальние перевозки.

Заключение. 3D-печать функциональных инструментов для школьных мастерских демонстрирует экономическую эффективность и значимый экологический эффект. Себестоимость изделий в 4–8 раз ниже рыночной цены, оборудование окупается за 1–2 месяца, а замена деревянных аналогов позволяет сберечь десятки кубометров древесины. Внедрение таких технологий укрепляет материально-техническую базу мастерских, сокращает бюджетные расходы, развивает у учащихся цифровые и инженерные компетенции.

Список литературы

1. Gaysina, S.V. *Robotics, 3D Modeling, and Prototyping: Implementation of Modern Trends in Supplementary Education: Methodological Recommendations for Educators* / S.V. Gaysina, I.V. Knyazeva, E.Yu. Oganovskaya. – Saint Petersburg: KARO, 2017 – 208 p.
2. Grits, M.A. *The Potential of 3D Technologies in Education* / M.A. Grits, A.V. Degtyareva, D.A. Chebotareva // *Current Problems of Aviation and Cosmonautics*. – 2015. – Vol. 2. – No. 11. – pp. 925–927. [Electronic resource] – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-3d-tehnologii-v-obrazovanii> – Access date: 03/13/2022.
3. Larchenko, A.P. *Fundamentals of 3D Modeling: Curriculum for Optional Classes for Grades VIII–XI of General Secondary Education Institutions* / A.P. Larchenko // *National Educational Portal* [Electronic resource] – Access mode: <https://docviewer.yandex.by> – Access date: 03/10/2022.
4. Lipnitsky, L.A. *The Use of 3D Printing Technology in the Development of Students' Innovative Thinking* / L.A. Lipnitsky // *Belarusian National Technical University* [Electronic resource] – Access mode: <http://www.bntu.by/news/67-conference-mido/4894---3d-----.html> – Access date: 03/08/2022.

UDC 004.356.2:005.591.6

MONITORING OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF OAK GROVES IN THE MICRODISTRICT OF BOBRUISK THROUGH GEOBOTANICAL DESCRIPTION

Shabolda P.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tsyavlovskaya N.V. - Senior Lecturer of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

Annotation. The article presents a comprehensive study on the application of 3D printing technologies for manufacturing functional marking tools (a thickness gauge and a marking compass) intended for use in school workshops during labor training classes. The work includes a detailed analysis of the functional characteristics of the printed products, a thorough economic justification with calculations of production costs, profit, and equipment payback period, as well as a large-scale assessment of the environmental effect across the entire system of general secondary education in the Republic of Belarus. The obtained results convincingly demonstrate that additive technologies can significantly reduce the financial costs of educational institutions, decrease the consumption of natural resources (primarily wood), minimize production waste, and simultaneously equip students with skills in working with modern digital technologies and foster an environmentally responsible worldview.

Keywords. 3D printing, additive technologies, functional tools, economic efficiency, environmental sustainability, PLA filament, sustainable development.