

УДК 004: 631.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

**Кирилл Валерьевич Акиндинов**

студент

bokser6831@mail.ru

**Станислав Сергеевич Архипов**

студент

**Олег Валерьевич Пшеничный**

студент

**Наталья Викторовна Картечина**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

kartechnatali@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В данной статье рассматривается значимость использования моделирования в агропромышленном комплексе и применение CAD-систем в производстве. Особое внимание уделено аддитивным технологиям, включая 3D-печать и 3D-сканирование, а также их интеграции в процессы проектирования, прототипирования и изготовления деталей сельскохозяйственной техники.

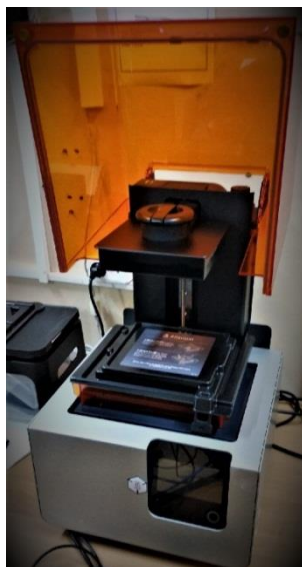
**Ключевые слова:** сельское хозяйство, цифровые технологии, CAD-система, автоматизация, аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-сканирование, агропромышленный комплекс.

Перспективным направлением в области производственных технологий является аддитивное моделирование, основанное на формировании трехмерных объектов путем последовательного добавления материала в соответствии с данными САД-систем [2].

Применение аддитивных технологий в агропромышленном комплексе перспективно для производства небольших партий деталей сельскохозяйственной техники. Технология предполагает создание цифровой модели детали путем 3D-сканирования, ее оптимизацию в САД-системе, последующую 3D-печать мастер-модели для изготовления силиконовой формы и, наконец, литье конечной детали. Использование 3D-сканеров позволяет оперативно получать точные размеры деталей сложной конфигурации, которые сложно измерить традиционными методами, и сразу же использовать эти данные в процессе проектирования. Время сканирования, например, легкового автомобиля ручным сканером, составляет 1-2 часа. При выборе оборудования необходимо учитывать, что сканеры начального уровня могут быть недостаточно точными для этих задач, в то время как модели среднего класса, такие как Artec Eva Lite, обеспечивают требуемую точность и производительность [4]. В настоящее время аддитивные технологии широко используются в медицине для производства имплантатов, аналогично, в будущем, такие технологии возможно использовать и в ветеринарии [1].

В сфере образования 3D-печать находит применение в производстве учебных пособий, позволяя создавать наглядные модели для изучения ботаники (плоды и ягоды), ветеринарии (внутренние органы животных) и сельскохозяйственного машиностроения (детали машин) [6]. Область аддитивных технологий динамично развивается, постоянно предлагая новые решения и модификации существующих процессов. Пионером в области 3D-печати считается Чарльз Халл, запатентовавший в 1984 году технологию стереолитографии. Компания 3D Systems, где работал Халл, в 1986 году выпустила первую коммерческую стереолитографическую систему SLA (Stereolithography Apparatus) [5]. Принцип работы SLA заключается в

избирательном отверждении жидкого фотополимера с помощью лазера, что позволяет формировать трехмерные объекты с высокой точностью и изотропными свойствами. Одним из примеров реализации данной технологии является 3D-принтер Formlabs Form 2 (Рис. 1).



*Рисунок 1 - 3D-принтер Formlabs Form 2 в помещении лаборатории.*

Рисунок 1 демонстрирует 3D-принтер Formlabs Form 2, размещенный в лабораторном помещении. Ключевыми достоинствами данной технологии являются высокая точность воспроизведения геометрии, возможность создания крупногабаритных изделий (максимальные размеры 150x75x55 см при весе до 150 кг), а также повышенная механическая прочность и термостойкость (до 100°C) получаемых моделей. Принтер позволяет создавать детали сложной конфигурации с высокой степенью детализации. Процесс 3D-печати характеризуется экологичностью за счет минимального образования отходов, а постобработка изделий, при необходимости, не требует значительных усилий.

Вместе с тем, технология имеет и определенные недостатки: отсутствие возможности печати в цвете и комбинирования различных материалов в одном процессе, относительно низкая скорость печати, а также значительный вес и высокая стоимость оборудования.

Для Formlabs Form 2 доступен широкий спектр материалов, предназначенных для различных областей применения: стандартные смолы для прототипирования, инженерные материалы для функциональных деталей,

специализированные смолы для ювелирного дела и стоматологии, керамические материалы и смолы для декоративных целей. Картриджи с полимерами для 3D-принтера Formlabs Form 2 изображены на Рис. 2.



Рисунок 2 - Картриджи с полимерами для 3D-принтера Formlabs Form 2.

К стандартным материалам относятся три вида фотополимерных смол: Formlabs White Resin (белая), Formlabs Clear Resin (прозрачная) и Formlabs Grey Resin (серая). Эти материалы обеспечивают высокую точность печати и позволяют воспроизводить сложные детали с минимальной толщиной стенок. Поддерживаемое разрешение варьируется от 25 до 100 микрон (Formlabs Grey Resin предлагает расширенный диапазон разрешений). Благодаря своим характеристикам, фотополимерные смолы широко применяются для создания прототипов, демонстрационных моделей, сувенирной продукции и функциональных деталей.

Для создания функциональных прототипов используются специализированные инженерные материалы. К ним относятся фотополимеры, обладающие улучшенными характеристиками. Например, Formlabs High Temp Resin разработан для деталей, работающих при повышенных температурах, демонстрирует стабильность при нагревании до 289 °C [11]. Это делает его пригодным для изготовления литейной оснастки, прототипов, испытывающих термическое воздействие, и шаблонов для термоформовки. Formlabs Tough Resin, отличающийся высокой прочностью, жесткостью и устойчивостью к ударным нагрузкам, идеально подходит для инженерных приложений, которые должны в ходе эксплуатации выдерживать значительные напряжения. Он

находит свое применение в создании защелкивающихся соединений и других прототипов, нуждающихся в повышенной механической прочности. Для имитации свойств эластичных материалов, таких как мягкий пластик, резина и силикон, используется Formlabs Flexible Resin, позволяющий печатать гибкие детали и мягкие поверхности, а также прототипы резиновых компонентов. В дополнение к этим материалам, к инженерным фотополимерам относится Formlabs Durable Resin, характеризующийся высокой пластичностью и износостойкостью. Эта смола применяется в производстве гибких изделий, подвергающихся длительным механическим деформациям, например, упаковочных материалов, бытовых товаров и компонентов с низким коэффициентом трения.

В области ювелирного производства и высокоточного прототипирования широко используется Formlabs Castable Resin - фотополимер, предназначенный для последующего выжигания без образования золы. Этот материал обеспечивает чистоту процесса и позволяет достигать высокого разрешения печати, поддерживая параметры 25, 50 и 100 микрон [9]. Для достижения оптимальных механических свойств и долговечности готовых изделий рекомендуется проводить финальную ультрафиолетовую обработку.

Аддитивные технологии также находят все большее применение в стоматологии, в частности, для изготовления имплантатов. Formlabs Dental SG - это первый в своем роде биосовместимый фотополимер, разработанный специально для нужд стоматологической практики и прошедший соответствующую сертификацию. Dental SG позволяет создавать высокоточные модели на основе данных, полученных при цифровом сканировании, для планирования и проведения имплантации. Кроме того, этот биосовместимый материал может быть использован для изготовления учебных моделей, кап для отбеливания зубов, брекетных систем и другого стоматологического оборудования [10].

Компания Formlabs активно расширяет границы возможностей аддитивного производства, разрабатывая и внедряя экспериментальные

материалы. Одним из примеров является Formlabs Form X Ceramic -- материал, сочетающий передовые технологии и инновационные составы, демонстрирующий потенциал стереолитографии (SLA) в создании изделий, имитирующих керамику [8]. После термической обработки изделия, изготовленные из этого материала, приобретают внешний вид и свойства, характерные для керамических изделий, и могут быть подвергнуты остеклению. Для создания декоративных изделий, сувениров, а также прототипов в сфере дизайна и моды, Formlabs предлагает смолу с блестками Formlabs Glitter Resin.

В дополнение к 3D-принтерам, важным компонентом оснащения лаборатории аддитивных технологий являются 3D-сканеры - устройства, предназначенные для анализа геометрической формы объектов и создания цифровых трехмерных моделей на основе полученных данных.

В зависимости от принципа получения данных, 3D-сканеры классифицируются на две основные категории: контактные и бесконтактные. Контактные сканеры требуют физического взаимодействия с поверхностью объекта для сбора информации о его геометрии. Бесконтактные сканеры, напротив, не нуждаются в прямом контакте. Среди бесконтактных сканеров выделяют активные и пассивные системы. Активные сканеры используют излучатели - светодиоды, лазеры, инфракрасное или ультразвуковое излучение, а также рентгеновские лучи - для просвечивания объекта и анализа отраженного сигнала. Пассивные сканеры, в свою очередь, полагаются на обнаружение и анализ уже существующего окружающего освещения, чаще всего видимого света. Цифровые модели, полученные с помощью 3D-сканирования, служат основой для дальнейшей работы в системах автоматизированного проектирования (САПР). Эти модели могут быть использованы для разработки технологических процессов изготовления (САМ) и проведения инженерных расчетов (САЕ) [3, 12]. Для визуализации и материализации 3D-моделей применяются различные устройства, такие как 3D-

мониторы, 3D-принтеры и фрезерные станки, поддерживающие язык управления G-кодом.



*Рисунок 3 - 3D-сканер Shining 3D Einscan SE в помещении лаборатории.*

В области аддитивных технологий распространенным и эффективным методом обработки материалов является лазерная резка. Оборудование для лазерной резки широко используется в производстве рекламной продукции, а также в различных промышленных секторах, включая строительный, машиностроительный, авиационный, судостроительный и текстильный комплексы [7]. В качестве источника излучения в лазерных станках часто применяется CO<sub>2</sub> лазерная трубка, обеспечивающая бесконтактную обработку материалов. Принцип резки основан на локальном нагреве материала до температуры плавления с помощью сфокусированного лазерного луча, после чего расплав удаляется потоком газа.



*Рисунок 4 – Лазерный станок Kamach 6090 ULTRA в помещении лаборатории.*

Оптимальная работа CO<sub>2</sub> лазерной трубки невозможна без эффективной системы охлаждения, которую обеспечивают чиллеры. Эти устройства не только поддерживают необходимую температуру, но и продлевают срок службы лазера, автоматически подстраиваясь под изменяющиеся условия эксплуатации и внешнюю среду. Существуют два режима работы чиллера: режим постоянной температуры и интеллектуальный режим, в котором система самостоятельно регулирует температуру охлаждения, реагируя на колебания температуры окружающей среды.



*Рисунок 5 – Чиллер S&A CW-5000AG.*

Проведенный анализ показывает, что аддитивные технологии обладают значительным потенциалом для трансформации агропромышленного комплекса. Интеграция 3D-сканирования, САД-систем и 3D-печати позволяет оптимизировать процессы проектирования, прототипирования и мелкосерийного производства деталей сельскохозяйственной техники, что особенно актуально в условиях необходимости быстрой адаптации к изменяющимся требованиям и сокращения времени вывода продукции на рынок.

Ключевыми преимуществами внедрения данных технологий являются: оперативность создания и модификации цифровых моделей, возможность производства сложно-конфигурационных деталей, снижение материалоемкости за счет минимизации отходов, а также развитие кастомизации и персонализации изделий. Особенно перспективным представляется использование аддитивных технологий для оперативного восстановления

вышедших из строя узлов техники, что может значительно снизить простой в периоды интенсивных сельскохозяйственных работ.

В сфере аграрного образования 3D-печать открывает новые возможности для создания интерактивных и наглядных учебных пособий, повышая качество подготовки специалистов. Несмотря на существующие ограничения, такие как высокая стоимость оборудования и материалов, а также относительно низкая скорость производства для крупных серий, постоянное развитие технологий и снижение затрат способствуют расширению сфер их применения.

Таким образом, дальнейшее развитие и внедрение аддитивных технологий в агропромышленный комплекс является стратегически важным направлением, способствующим цифровизации отрасли, повышению эффективности производства и конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной техники. Для успешной реализации этого потенциала необходима консолидация усилий образовательных учреждений, научно-исследовательских центров и промышленных предприятий.

#### **Список литературы:**

1. Абалуев Р. Н., Чиркин С. О. Перспективы использования аддитивных технологий в агропромышленном комплексе // Наука и Образование. 2019. Т. 2, № 2. С. 311. EDN ROWWKN.
2. Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). Учебное пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015, – 63с.
3. Как выбрать CAD-систему. Какие бывают CAD-системы // CAD/CAM Tutorials – URL: <https://cadcamtutorials.ru/articles/cnc5>
4. Как применяется 3D-сканирование: основные задачи и возможности // GLOBATEK – URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/kakie-zadachi-reshaut-3d-skanery>
5. Как развивалась технология 3D-печати и на что она способна сейчас // Ростелеком – URL: <https://blog.rt.ru/b2c/kak-razvivalas-tekhnologiya-3d-pechati-i-na-chto-ona-sposobna-seichas.htm>

6. Мурашко, И. Д. К вопросу о разработке проекта применения 3D-печати в вузе при изучении учебной дисциплины «Ботаника» // Молодой ученый. 2021. № 6 (348). С. 92-96.

7. Технологии лазерного аддитивного производства металлических изделий // Хабр – URL: <https://habr.com/ru/articles/218271/?ysclid=mlfeemqg6769631206>

8. Formlabs представляет керамический материал для 3D-печати (+ видео) // 3D PULSE – URL: <https://www.3dpulse.ru/news/rashodnye-materialy/formlabs-predstavlyaet-keramicheskii-material-dlya-3d-pechati/>

9. Formlabs представляет новый материал для ювелирной печати | 3DVision // 3D Vision – URL: <https://3dvision.su/blog/formlabs-yuvelirnaya-pechat/>

10. Formlabs Form 2 Dental SG фотополимер // 3D Hub– URL: [https://3dhub.by/catalog-dental\\_sg\\_resin.html](https://3dhub.by/catalog-dental_sg_resin.html)

11. Что и чем печатать на Form 2 // Хабр – URL: <https://habr.com/ru/companies/top3dshop/articles/400793/?ysclid=mlfdzjfj8m8291769979>

12. Шацкий, В. А., Картечина Н. В., Чиркин С. О. Инновация в 3D-печати // Наука и Образование. 2023. Т. 6, № 1. EDN NKIXBB.

**UDC 004: 631.1**

## **THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

**Kirill V. Akindinov**

student

bokser6831@mail.ru

**Stanislav S. Arkhipov**

student

**Oleg V. Pshenichny**

student

**Natalia V. Kartechina**

candidate of agricultural sciences, associate professor

kartechnatali@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** This article examines the importance of using modeling in the agro-industrial complex and the use of CAD systems in production. Special attention is paid to additive technologies, including 3D printing and 3D scanning, as well as their integration into the processes of designing, prototyping and manufacturing agricultural machinery parts.

**Keywords:** agriculture, digital technologies, CAD system, automation, additive technologies, 3D printing, 3D scanning, agro-industrial complex.

Статья поступила в редакцию 25.02.2026; одобрена после рецензирования 20.03.2026; принята к публикации 31.03.2026.

The article was submitted 25.02.2026; approved after reviewing 20.03.2026; accepted for publication 31.03.2026.