



МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ/MACHINES, UNITS AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.9.2>**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРКА АДДИТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Научная статья

Ткаченко Е.Д.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0007-3116-8788;¹ Омский Государственный Технический Университет, Омск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (edtkachenko[at]omgtu.ru)

Аннотация

В статье рассматривается технология аддитивного производства в современном мире как одно из перспективных направлений промышленности. Описываются некоторые этапы проектирования производства, а также представлен один из способов проектирования парка аддитивного оборудования на предприятиях пищевой промышленности. Данная тема актуальна, так как рынок аддитивного производства в мире, по оценкам аналитической компании Research and Markets, растет в среднем более чем на 20% ежегодно. Аддитивное оборудование все чаще используется на производственных предприятиях. Но использование не всегда технологично и недостаточно эффективно. В статье рассмотрено формирование оптимального парка аддитивного оборудования.

Ключевые слова: процесс, аддитивные технологии, аддитивное оборудование, 3D-принтер, пищевое производство, технологичность, техническое обслуживание, ремонт.

DESIGNING ADDITIVE EQUIPMENT PARKS AT FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

Research article

Tkachenko E.D.^{1,*}¹ ORCID : 0009-0007-3116-8788;¹ Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

* Corresponding author (edtkachenko[at]omgtu.ru)

Abstract

The article examines additive manufacturing technology in the modern world as one of the promising areas of industry. It describes some stages of production design and presents one of the methods for designing a park of additive equipment at food industry enterprises. This topic is relevant because, according to estimates by the analytical company Research and Markets, the global additive manufacturing market is growing by an average of more than 20% annually. Additive equipment is increasingly being used in manufacturing enterprises. However, its use is not always technologically feasible or effective enough. The paper discusses the development of an optimal additive equipment park.

Keywords: process, additive technologies, additive equipment, 3D printer, food production, technological efficiency, technical maintenance, repair.

Введение

При проектировании парка аддитивного оборудования необходимо обеспечить высокую эффективность, для пищевой промышленности это особенно важно, так как производство идет потоковое и остановка производства влечет за собой большие убытки. Таким образом задачей проектирования является разработка проекта цеха или участка аддитивного оборудования для выпуска изделий определенной номенклатуры, требуемого качества и в заданном количестве при достижении минимальных приведенных затрат на годовой выпуск с учетом всех требований к охране труда. На пищевом предприятии производственный процесс довольно сложный ввиду широкой номенклатуры продукции, разнообразия применяемых технологических процессов, разнообразия оборудования и технологической оснастки.

Методы и принципы исследования

Технологию аддитивного производства (3D-печать) можно назвать одним из основных нововведений цифровых технологий, которое может сделать революцию в производственном процессе. Принцип производства с нанесением слоев существует уже более трех десятилетий, но только в последние годы потенциал этой технологии по-настоящему стал раскрываться на промышленных предприятиях. Широта применения материалов и расширение практического применения привлекли внимание мировой индустрии. Пищевая промышленность также заинтересована в этом новом способе производства. Настоящая статья сосредоточена на проектировании вспомогательного производства, но зачастую аддитивные технологии используются также и в основном производстве пищевой промышленности. При помощи цеха аддитивного оборудования на предприятии пищевой промышленности могут быть решены проблемы с техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) основного производственного оборудования за счет изготовления запасных частей. Также появляется возможность развития производства за счет использования новой оснастки, произведенной на аддитивном оборудовании.



Проектирование парка аддитивного оборудования для ТООР на пищевом предприятии — это сложный и многогранный процесс, требующий учёта множества факторов. Аддитивное производство, или 3D-печать, позволяет создавать изделия послойно с использованием цифровых моделей. Это даёт возможность изготавливать сложные формы без традиционных инструментов литья и механической обработки, что может быть полезно для быстрого изготовления запасных частей или уникальных компонентов в рамках ТООР.

Проектирование парка оборудования невозможно без понимания принципов организации производственного процесса на предприятии. Основными принципами организации производственного процесса являются: непрерывность, прямоточность, параллельность, пропорциональность и ритмичность. Для организации непрерывности производственного процесса на предприятии пищевой промышленности необходимо поддержание в рабочем состоянии основного производственного оборудования. Для этого на предприятии проводится ТОиР оборудования. Но не всегда запчасти для ремонта есть в наличии и из-за сложностей в логистике появляются простои производства, влекущие за собой убытки.

Также при проектировании необходимо разделять методы организации производства: поточный в условиях массового и крупносерийного производства, партионный в условиях серийного производства, единичный в условиях мелкосерийного производства, единично-партионный в условиях гибкой производственной системы. Для пищевой промышленности присущ партионный метод в условиях серийного производства, так как готовая продукция имеет срок годности. Отсюда следует, что в производственном процессе должны быть предусмотрены естественные остановки производства для переналадки оборудования между партиями. Эти промежутки времени можно использовать для организации ТОиР. Поэтому на предприятии необходимо организовывать запас запчастей, который можно изготавливать на аддитивном оборудовании.

Основные результаты

При проектировании парка аддитивного оборудования на пищевом предприятии необходимо одновременно решать технологические, экономические и организационные задачи, которые тесно связаны между собой.

Для решения технологических задач нужно: проработать вопросы технологичности пищевой продукции, которую планируется выпускать; спроектировать технологические процессы ТООР с учётом возможностей аддитивного оборудования; выявить трудоёмкость и станкоёмкость операций с использованием аддитивных технологий; установить, какое аддитивное и вспомогательное оборудование потребуется, в каком количестве; определить необходимое количество сотрудников и их квалификацию; рассчитать нормы расхода материалов для аддитивного производства; определить площади и размеры участков и цеха; разработать компоновку цеха и планировку размещения аддитивного оборудования; подготовить задания для строительного и энергетического проектирования.

Для решения экономических задач необходимо: рассчитать себестоимость и рентабельность выпуска пищевой продукции с использованием аддитивного оборудования для ТООР; определить удельные приведённые затраты, размеры основных и оборотных средств; составить калькуляции на основные виды продукции; решить вопросы финансирования проекта внедрения аддитивного оборудования.

Для решения организационных задач нужно:

- выбрать принципы формирования производственных подразделений с учётом использования аддитивных технологий для ТООР;
- разработать структуру управления производством;
- внедрить научную организацию труда;
- организовать документооборот;
- выстроить работу производственных служб;
- создать систему контроля за ходом производства, включая контроль качества запасных частей, произведённых с помощью аддитивного оборудования.

Само проектирование необходимо разделять на этапы. Можно выделить шесть основных.

1. Определение профиля продукции и технологических требований. На первом этапе необходимо чётко определить, какие детали (запчасти) или компоненты будут изготавливаться с помощью аддитивного оборудования. Для пищевого предприятия это могут быть специфические запчасти, инструменты или элементы оборудования, используемые в производственных процессах. Также следует выбрать подходящий тип аддитивной технологии (например, FDM, SLM, SLS, SLA), исходя из требований к размерам, точности и условиям эксплуатации изделий. Важно учесть требования к качеству, скорости изготовления и необходимости постобработки изделий.

2. Анализ потока материалов и выбор расположения оборудования. Несмотря на компактность аддитивных комплексов, необходимо грамотно распределить зоны печати, подготовки и финишной обработки. Нужно продумать логистику материалов: от хранения порошков и филаментов до удаления отходов и технического обслуживания оборудования. Расположение оборудования должно учитывать специфику пищевого производства, включая требования к чистоте, безопасности и соблюдению санитарных норм.

3. Проектирование производственного пространства. Пространство должно обеспечивать безопасность персонала и соответствовать санитарным требованиям пищевого производства. Необходимо организовать эффективный воздухообмен и системы контроля качества. Следует учитывать особенности интеграции аддитивного оборудования в существующее производственное пространство.

4. Интеграция с ERP и MES-системами. Интеграция с системами ERP (Enterprise Resource Planning) и MES (Manufacturing Execution System) позволит отслеживать статус заказов и загрузку оборудования. Это обеспечит более эффективное планирование и управление производственными процессами, а также улучшит координацию между различными подразделениями предприятия.

5. Выбор и внедрение программного обеспечения. ПО играет центральную роль в аддитивном производстве. Оно начинается с CAD/CAE-средств, где создаётся 3D-модель изделия. Далее следуют этапы предобработки (анализ геометрии, проверка на ошибки, подготовка поддержек) и использования слайсеров — программ, разбивающих модель на набор команд для принтера. Современное ПО должно уметь считывать статусы печати в реальном времени, настраивать коррекцию траектории, адаптироваться к отклонениям по температуре или давлению в камере.

6. Подготовка персонала. Инженер, работающий с аддитивным производством, должен совмещать несколько компетенций: понимание материаловедения, навыков цифрового моделирования и управления производственными процессами. Критически важны знания о технологиях аддитивного производства, принципах цифровой трансформации и проектировании под печать (DfAM). Рекомендуется создание мультidisциплинарных команд, объединяющих проектировщиков, техников, ИТ-специалистов и производственников. Это позволит синхронизировать задумку, программное исполнение и физическую реализацию изделий.

Таким образом, проектирование парка аддитивного оборудования для ТООИР на пищевом предприятии требует комплексного подхода, учитывающего как общие принципы проектирования аддитивных комплексов, так и специфические требования пищевой промышленности.

Сравнительный анализ и выбор оптимальной технологии

Одним из градообразующих пищевых предприятий города Омска является ООО ТД «ЛЮБИНСКИЙ». Данное предприятие производит различные виды кондитерской продукции (зефир, мармелад, конфеты, печенье и многое другое). На производстве используется много оборудования, которое нуждается в постоянном обслуживании. В рамках данной статьи рассмотрим несколько аддитивных технологий, сравним их и выберем оптимальную для проведения ТООИР на ООО ТД «ЛЮБИНСКИЙ». Для сравнения используем четыре аддитивные технологии: FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (Stereolithography) / DLP (Digital Light Processing), SLM (Selective Laser Melting) / DMLS (Direct Metal Laser Sintering), Binder Jetting (Струйная печать связующим). Выделим основные принципы данных технологий и их плюсы и минусы.

FDM (Fused Deposition Modeling)

Принцип: Послойное нанесение расплавленного термопластичного филамента.

Плюсы: Низкая стоимость оборудования и материалов (PLA, ABS, PETG), простота использования, крупные детали.

Минусы: Относительно низкая точность и качество поверхности, анизотропия свойств.

Применение в ТООИР: Прототипы, оснастка, некритичные запасные части, шаблоны, корпуса приборов.

SLA (Stereolithography) / DLP (Digital Light Processing)

Принцип: Полимеризация жидкой смолы под действием УФ-лазера/проектора.

Плюсы: Высокая детализация, гладкая поверхность, точность.

Минусы: Хрупкость (для стандартных смол), стоимость материалов.

Применение в ТООИР: Детали с точными размерами, мелкие компоненты, формы для литья, прототипы.

SLM (Selective Laser Melting) / DMLS (Direct Metal Laser Sintering)

Принцип: Плавление/спекание металлического порошка лазерным лучом.

Плюсы: Изготовление прочных металлических деталей из титана, стали, алюминия с любой геометрией.

Минусы: Высокая стоимость оборудования, порошков, сложная постобработка.

Применение в ТООИР: Критичные детали в авиации, энергетике (лопатки турбин, корпуса), ремонт сложно изготовленных узлов.

Binder Jetting (Струйная печать связующим)

Принцип: Нанесение связующего вещества на слой порошка (металл, керамика).

Плюсы: Скорость, работа с разными материалами (в т.ч. металлами с последующим спеканием).

Минусы: Постобработка (спекание) для придания прочности.

Применение в ТООИР: Сложные формы, большие объемы, быстрое производство металлических частей.

Для удобства сформируем сравнительную таблицу приведенных аддитивных технологий.

Таблица 1 - Сравнительная таблица аддитивных технологий для ТООИР

DOI: <https://doi.org/10.60797/ENGIN.2025.9.2.1>

Характеристика	FDM	SLA/DLP	SLM/DMLS	Binder Jetting
Материалы	Пластики	Смолы	Металлы, сплавы	Металл, керамика
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая	Средняя
Точность	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Скорость	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая
Применение	Прототипы, оснастка	Точные детали	Критичные металлические детали	Сложные формы, большие объемы

Данная таблица позволяет произвести выбор подходящей аддитивной технологии для ООО ТД «ЛЮБИНСКИЙ». Учитывая все плюсы и минусы, а так же стоимость, целесообразно на пищевом предприятии ООО ТД «ЛЮБИНСКИЙ» использовать **Binder Jetting** как наиболее оптимальную аддитивную технологию для ТООИР.



Руководству предприятия можно рекомендовать покупку аддитивного оборудования на основе технологии **Binder Jetting**.

Заключение

Проектирование парка аддитивного оборудования на предприятиях пищевой промышленности открывает новые горизонты для оптимизации технического обслуживания и ремонта за счет сокращения сроков изготовления необходимых компонентов (запчастей), а следовательно и повышения гибкости производства. Однако этот процесс требует комплексного подхода, учёта специфических требований отрасли — от соблюдения санитарных норм и стандартов безопасности до организации эффективного производственного пространства и подготовки квалифицированного персонала.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Шабашов А.А. Проектирование машиностроительного производства / А.А. Шабашов. — Екатеринбург: Урал. ун-та, 2016. — 76 с.
2. Gibson D.W. Additive Manufacturing Technologies Springer / D.W. Gibson. — Llc: Science+Business Media, 2010. — 447 p.
3. Ляпков А.А. Полимерные аддитивные технологии / А.А. Ляпков. — Томск: Томского политехнического университета, 2016. — 114 с.
4. Зубина В.А. Обоснование гармоничного тракторного парка сельскохозяйственных организаций при минимизации потерь сельскохозяйственной продукции : дис. ...кандидат наук : 05.02.13 : защищена 2020-03-04 / В.А. Зубина. — Москва, 2020. — 155 с.
5. Теслов Г.А. Оценка влияния сложности печатного изображения на процесс офсетной печати : дис. ...кандидат наук : 05.02.13 / Г.А. Теслов. — Москва. — 173 с.
6. Корниенко В.Ю. Тенденции в развитии трехмерной печати продуктов питания / В.Ю. Корниенко, М.Ю. Минаев // Пищевые системы. — 2022. — № 1. — С. 23–29. — DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29
7. Егоров К.Н. Аддитивные технологии в пищевой промышленности: проблемы безопасности и перспективы развития / К.Н. Егоров, С.А. Егорова, В.Г. Петрякова // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика. — 2021. — С. 6–21.
8. Гусаков Г. 3D печать в индустрии питания / Г. Гусаков, И. Калтович // Наука и инновации. — 2024. — № 10(259). — С. 37–42.
9. Никитина М.А. Аддитивные технологии в пищевой промышленности / М.А. Никитина, Н.А. Горбунова // Пищевые системы. — 2025. — Т. 8, № 3. — С. 450–468. — DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-3-450-468
10. Дресвянников В.А. Состояние и перспективы использования аддитивных технологий в производстве / В.А. Дресвянников // Экономические науки. — 2017. — № 5. — С. 78–85.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shabashov A.A. Proektirovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva [Engineering production design] / A.A. Shabashov. — Ekaterinburg: Ural. un-ta, 2016. — 76 p. [in Russian]
2. Gibson D.W. Additive Manufacturing Technologies Springer / D.W. Gibson. — Llc: Science+Business Media, 2010. — 447 p.
3. Lyapkov A.A. Polimerny'e additivny'e tekhnologii [Polymer additive technologies] / A.A. Lyapkov. — Tomsk: Tomskogo politexnicheskogo universiteta, 2016. — 114 p. [in Russian]
4. Zubina V.A. Obosnovanie garmonichnogo traktornogo parka selskokhozyaistvennikh organizatsii pri minimizatsii poter selskokhozyaistvennoi produktsii [Justification of a harmonious tractor fleet for agricultural organizations while minimizing losses of agricultural products] : dis....Candidate of Sciences : 05.02.13 : defense of the thesis 2020-03-04 / V.A. Zubina. — Moscow, 2020. — 155 p. [in Russian]
5. Teslov G.A. Otsenka vliyaniya slozhnosti pechatnogo izobrazheniya na protsess ofsetnoi pechati [Assessing the impact of print image complexity on the offset printing process] : dis....Candidate of Sciences : 05.02.13 / G.A. Teslov. — Moscow. — 173 p. [in Russian]
6. Kornienko V.Yu. Tendentsii v razvitii trekhmernoii pechati produktov pitaniya [Trends in the development of 3D printing of food products] / V.Yu. Kornienko, M. Yu. Minaev // Pishchevie sistemi [Food systems]. — 2022. — № 1. — P. 23–29. — DOI: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-23-29 [in Russian]
7. Yegorov K.N. Additivnie tekhnologii v pishchevoi promishlennosti: problemi bezopasnosti i perspektivi razvitiya [Additive Technologies in the Food Industry: Safety Issues and Development Prospects] / K.N. Yegorov, S.A. Yegorova, V.G.



Petryakova // Aktualnie voprosi sovremennoi nauki: teoriya, tekhnologiya, metodologiya i praktika [Current Issues in Modern Science: Theory, Technology, Methodology, and Practice]. — 2021. — P. 6–21. [in Russian]

8. Gusakov G. 3D pechat v industrii pitaniya [3D printing in the food industry] / G. Gusakov, I. Kaltovich // Nauka i innovatsii [Science and innovation]. — 2024. — № 10(259). — P. 37–42. [in Russian]

9. Nikitina M.A. Additivnie tekhnologii v pishchevoi promishlennosti [Additive technologies in the food industry] / M.A. Nikitina, N.A. Gorbunova // Pishchevie sistemi [Food systems]. — 2025. — Vol. 8, № 3. — P. 450–468. — DOI: 10.21323/2618-9771-2025-8-3-450-468 [in Russian]

10. Dresvyannikov V.A. Costoyanie i perspektivi ispolzovaniya additivnikh tekhnologii v proizvodstve [Status and prospects of using additive technologies in manufacturing] / V.A. Dresvyannikov // Ekonomicheskie nauki [Economic Sciences]. — 2017. — № 5. — P. 78–85. [in Russian]