

10. Патент на полезную модель № 172891 U1 Российская Федерация, МПК A01B 15/16, A01B 23/06, B23K 9/04. Почвообрабатывающий сферический диск: № 2016137210: заявл. 16.09.2016: опубл. 28.07.2017 / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, О.С. Кузьмин, Н.П. Григорьев.

11. Современные методы упрочнения дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин / Н.М. Ожегов, В.А. Ружьев, В.Д. Губарев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 95–98.

12. Патент на полезную модель № 230333 U1 Российская Федерация, МПК A01B 13/08, A01B 49/02. Агрегат для основной безотвальной обработки почвы с низким тяговым сопротивлением: № 2024121631: заявл. 30.07.2024: опубл. 28.11.2024 / В.А. Ружьев, А.Б. Калинин, И.З. Теплинский [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Summary. The problem of increasing the wear resistance of agricultural machinery components cannot be solved solely by increasing surface hardness. It is necessary to consider the kinetics of changes in the material's mechanical properties under cyclic loads and thermal cycles. The Bauschinger effect is an important factor determining a material's resistance to repeated deformation of the opposite sign.

УДК 631.3:681.9

Копчик Д.И., преподаватель-стажер

*Учреждение образования «Белорусский Государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Рассматривается применение аддитивных технологий для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники.

Abstract. The use of additive technologies for the repair and manufacturing of agricultural machinery parts is considered.

Ключевые слова. Аддитивные технологии, трехмерные (3D) изделия, 3D-принтер, 3D-печать.

Keywords. Additive technologies, three-dimensional (3D) products, 3D printer, 3D printing.

Аддитивные технологии (Additive Technologies) – это обобщенное название технологий изготовления трехмерных (3D) изделий по их компьютерным моделям путем последовательного добавления (наращивания) материала. Свое название (в буквальном переводе с английского – «добавляющие») они получили от английского слова «add» (добавлять) «вычитающим», или – в противоположность субтрактивным, традиционным технологиям (Subtractive Technologies), предусматривающим достижение требуемой формы изделия путем удаления («вычитания») материала с заготовки в результате ее механической, электроэрозионной и т.п. обра-

ботки. Аддитивные технологии обычно называют сокращенно АМ технологиями (Additive Manufacturing – аддитивное производство).[9]

Обзор литературы. В аддитивном производстве-технологии формирования трёхмерных объектов путём последовательного наращивания слоёв [3] – в качестве конструкционного материала применяется тонкодисперсный порошок, листовой материал и т. п., изготовленные как из различных металлов, так и из неметаллов. Оборудованием выступает 3D-принтер [4]. Многообразие используемых в последнее время материалов при 3D-печати даёт возможность выпускать изделия с разными свойствами, но лишь в отдельных случаях делает полученные детали пригодными для непосредственной эксплуатации в узлах машин. Особенно востребованной является печать деталей из металла. Это стало осуществимым благодаря разработке более совершенных технологий печати [1]. К сожалению, подобные способы изготовления металлических деталей на сегодняшний день всё ещё достаточно редко встречаются на предприятиях. Причина этого – крайне высокая стоимость оборудования, расходных материалов и в целом всей технологической цепочки [2]. Однако в работе [8] авторы, изучая применение технологии стереолитографии с использованием в качестве печатного материала фотополимера, утверждают, что применение дорогостоящих технологий в аддитивном производстве вполне оправдано, поскольку в итоге снижаются материальные и временные затраты.

Наряду с рассмотренными технологиями следует отметить и 3D-сканирование [6]. Эта технология даёт возможность создавать пространственные модели объектов в виде цифровых моделей (CAD-модели). Полученные модели деталей можно видоизменять, дорабатывать или просто копировать.

Сканирующее оборудование обладает достаточно высокой точностью (менее 10–15 микрон), что позволяет проводить сравнительный анализ проектной документации (исходной CAD-модели) и изготовленных деталей на предмет отклонений размеров и формы [7].

Сканирование позволяет формировать необходимую проектную документацию для последующего применения в производстве (особенно при выпуске деталей со сложной геометрией). 3D-сканирование широко применяется в различных инженерных расчётах [5].

Проведя обзор литературы, отметим, что в большинстве случаев авторы рассматривают отдельные технологии и этапы аддитивного производства. В целом же примеров полного технологического процесса – от проектирования до получения конечного товарного продукта – крайне мало.

Материалы и методы. В настоящее время в научных, образовательных и производственных организациях необходимо формировать структурные подразделения с соответствующим оснащением, позволяющим вести деятельность в области аддитивных технологий. В последнее время на базе предприятий и учебных заведений созданы и успешно действуют подразделения, занимающиеся сферой аддитивных технологий. Подобные

центры в своём техническом оснащении применяют высокотехнологичное оборудование, дающее возможность не только осуществлять проектирование, но и выпускать готовую продукцию. К примеру, в государственной корпорации РОСАТОМ реализуется бизнес-направление «Аддитивные технологии», в рамках которого организованы Центры аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) с обучающими функциями. В 2025 году был открыт Центр аддитивных технологий в городе Минск. Центр оснащен двумя машинами, печатающими металлом по технологии селективного лазерного сплавления, установкой для печати песчано-полимерных форм для литья, а также 3D-сканером.

На базе Белорусского государственного аграрно технического университета открыта лаборатория аддитивных технологий, которая оснащена 3D принтерами, печатающими по технологии FDM и SLM также имеется 3D сканер.

Имеющееся оборудование и технологии позволяют получать изделия только из пластика. Широкая номенклатура деталей из полимеров, применяемых в узлах современных машин, пользуется большим спросом, и производство вышедших из строя пластиковых изделий очень востребовано.

Результаты работы: В качестве примера нами предложена последовательность реверс-инжиниринга изношенного корпуса туковывсевающего аппарата. Сначала корпус туковывсевающего аппарата следует сканировать и получить облако точек, затем преобразовать его в полигональную модель (рис. 1), полигональную поверхность преобразовать в твердотельную CAD-модель (рис. 2).

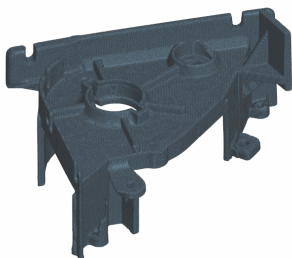


Рисунок 1 – Полигональная поверхность туковывсевающего аппарата

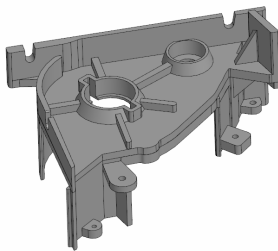


Рисунок 2 – Твердотельная CAD-модель туковывсевающего аппарата

Применение наукоёмких современных методов аддитивного производства должно существенно сказаться на процессе восстановления работоспособности устройств, особенно импортного происхождения. Отсутствие необходимой номенклатуры запасных частей либо восстановленных элементов приводит к простоям машин и систем, что влечёт за собой значительные экономические потери. Использование аддитивных технологий позволяет отчасти решить указанные проблемы, оперативно изготавливать детали любой сложности и заметно сокращать время на их производство.

Список использованной литературы

1. Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges / T. D. Ngo [et al.] // *Composites Part B: Engineering*. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb> – Дата доступа: 27.04.2026
2. Анализ аддитивного оборудования для 3D-печати деталей / И. Г. Голубев [и др.] // *Технический сервис машин*. – 2019. – № 1 (134). – С. 194–200. – EDN: ZCGKNB.
3. Литунов, С. Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 / С. Н. Литунов, В. С. Слободенюк, Д. В. Мельников // *Омский научный вестник*. – 2016. – № 1 (145). – С. 12–17. – URL: [Электронный ресурс]: <https://clck.ru/3DXM4T> – Дата доступа: 27.04.2026
4. Мальцева, О. В. Развитие мирового рынка 3D-принтеров / О. В. Мальцева // *Российский внешнеэкономический вестник*. – 2018. – № 9. – С. 88–97. – URL: [Электронный ресурс]: <https://journal.vavt.ru/rfej/article/view/1610> – Дата доступа: 27.04.2026.
5. Нефёлов, И. С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами аддитивных технологий / И. С. Нефёлов // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2018. – № 11. – С. 15–17. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17> – Дата доступа: 27.04.2026
6. Перспективы применения аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственной техники / И. Г. Голубев [и др.] // *Труды ГОСНИТИ*. – 2018. – Т. 130. – С. 214–219. – EDN: YVGNHL
7. Rapid Prototyping for Assembly Training and Validation / A. Ahmad [et al.] // *IFAC-PapersOnLine*. – 2015. – Vol. 48, Issue 3. – P. 412–417. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.116> – Дата доступа: 27.04.2026
8. Suryatal, B. K. Fabrication of Medium Scale 3D Components Using Stereolithography System for Rapid Prototyping / B. K. Suryatal, S. S. Sarawade, S. P. Deshmukh // *Jornal of King Saud Univercity – Engineering Sciences*. – 2023. – Vol. 35, Issue 1. – P. 40–52. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.02.012> – Дата доступа: 27.04.2026
9. Толочко, Н. К. Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин: учебное пособие / Н. К. Толочко, С. О. Нукешев, Н. Н. Романюк, С. И. Мендалиева; Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина. – Нур-Султан: [б. и.], 2022. – 192 с.

Summary. The application of high-tech modern additive manufacturing methods should have a significant impact on the process of restoring the functionality of devices, especially those of foreign origin. The lack of the necessary range of spare parts or restored components leads to downtime of machines and systems, which entails significant economic losses. The use of additive technologies makes it possible to partially solve these problems, quickly manufacture parts of any complexity, and significantly reduce the time required for their production.