

4. Чичилов И. И. Совершенствование методики и средств диагностирования дизельных двигателей: диссертация...кандидата технических наук: 05.20.03. – Омск, 2017. – 211 с.

5. Кривцов С. Н. Разработка метода бестормозных испытаний восьмицилиндровых дизельных двигателей в эксплуатационных условиях (на примере двигателя КамАЗ-740): диссертация...кандидата технических наук : 05.20.03. – Иркутск, 2005. – 197 с.

Summary. The experimental investigations carried out have demonstrated that the developed brake power assessment methodology enables reliable determination of its rated value. Owing to a design constraint on the per-cycle fuel delivery imposed by the engine control system, the full-load engine regime corresponding to maximum torque cannot be attained within the framework of the proposed diagnostic approach. Nevertheless, the presented methodology is fully applicable to the periodic in-service diagnostics of internal combustion engines under field conditions.

УДК 004.9

Бережная И.Ш., директор центра аддитивных технологий общего доступа;

Асыка А.В., ассистент

*ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет
им В.Я. Горина», г. Белгород, Российская Федерация*

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ ПОМОЩИ

Аннотация В публикации рассматриваются современные возможности 3D-моделирования и аддитивных технологий в ветеринарной медицине, включая создание индивидуальных имплантов, протезов и анатомических моделей для предоперационного планирования. Описаны преимущества применения 3D-печати для повышения точности диагностики, эффективности хирургических вмешательств и качества реабилитации животных.

Abstract The publication discusses the current possibilities of 3D modeling and additive technologies in veterinary medicine, including the creation of individual implants, prostheses, and anatomical models for preoperative planning. It describes the advantages of using 3D printing to improve the accuracy of diagnostics, the effectiveness of surgical interventions, and the quality of animal rehabilitation.

Ключевые слова. 3D-моделирование, аддитивные технологии, 3D-печать, ветеринария, индивидуальные импланты, протезирование животных, цифровые технологии в медицине

Keywords. 3D modeling, additive technologies, 3D printing, veterinary medicine, customized implants, animal prosthetics, and digital technologies in medicine

3D-моделирование, т.е. создание трехмерных цифровых объектов посредством специального программного обеспечения – современная технология, находящая широкое применение в различных сферах народного хозяйства, включая аграрный сектор и в частности ветеринарию [1, 2].

Использование трехмерных моделей позволяет улучшить диагностику, планирование операций, обучение специалистов и создание индивидуальных протезов или имплантов для животных.

Мы видим следующие направления использования технологий 3D-моделирования в ветеринарии:

1) Визуализация анатомии при планировании операций – создание 3D-модели позволит ветеринарному врачу получить точное представление о внутренней структуре животного, что особенно важно при сложных хирургических вмешательствах, поможет подготовиться к операции, определить оптимальный подход и снизить риски [3].

2) Персонализированные решения и быстрота производства под анатомию конкретного животного следующих изделий:

- имплантов, т.е. устройств, интегрируемых непосредственно в тело животного для восстановления внутренних структур, например, полученные с помощью 3D-печати эндопротезы суставов собакам крупных пород, пластины для остеосинтеза, межпозвонковые распорки (кейджи), костнозамещающие материалы черепа и т.д.;

- протезов, т.е. устройств, заменяющих утраченные конечности и других частей организма животного, или улучшающих функциональность существующих, например, части конечностей домашних питомцев, восстановление клюва у редких птиц и т.д.;

- ортезов, т.е. приспособлений, накладываемых с внешней стороны животного, для изменения структурных и функциональных характеристик нервно-мышечной и скелетной системы, например, полученные с помощью 3D-печати ортезы плюсны для собак и кошек, коленных, скакательных и лучезапястных суставов и т.д.

3) На базе 3D-моделей внутренних органов животных можно проводить тренировки и обучение ветеринарных специалистов, позволяя им практиковаться без риска для животных [4].

4) Симуляция операций на базе виртуальных тренажеров с 3D-моделями различных органов животных.

5) Моделирование патологий при проведении научных исследований, т.е. создание моделей болезней и травм для изучения их развития и поисков методов лечения.

Источниками данных для создания 3D-моделей, которые могут быть применены в ветеринарии выступают:

- данные полученные путем медицинской визуализации – МРТ (магнитно-резонансная томография, при которой детализированные изображения внутренних органов получают с помощью магнитного поля и радиоволн), КТ (компьютерная томография, при которой детализированные изображения внутренних органов получают с помощью рентгеновских лучей) и УЗИ (ультразвуковое исследование);

- данные полученные путем 3D-сканирования, т.е. получения цифровой копии с реального объекта путем измерения геометрических характеристик

(используются специальные 3D-сканеры) и соответствующее программное обеспечение – Scaniverse, Widar, PointShape Inspector, SCENE и др.;

- программы для моделирования (Blender, SketchUp, Autodesk 3ds Max) редактирования (Meshmixer, SculptGL) и анализа 3D-объектов (Fusion 360, PointShape Inspector) и другие.

Конечным продуктом 3D-моделирования для ветеринарии выступает модель, полученная путем 3D-печати: FDM (послойное наплавление), SLA (фотополимерная), SLS (селективное лазерное спекание) и SLM (селективное лазерное сплавление) [5].

На сегодняшний день аддитивные технологии (3D-печать) находят широкое применение в ветеринарии как для домашних, так и для промышленных животных и птицы, позволяя создавать протезы, импланты, хирургический инструмент и т.д.

Специалисты Центра аддитивных технологий общего доступа Белгородского ГАУ обуславливают активное развитие 3D-моделирования и 3D-печати для нужд ветеринарии следующими факторами [6]:

- индивидуальность, т.е. возможность создание решений под конкретные потребности применительно к конкретному животному;

- точность, т.е. получение решений (изделий ветеринарного назначения) высокой точности;

- прочность, т.е. получение изделий заданной прочности;

- универсальность, т.е. возможность получения изделий, находящихся применение в лечении от мелких непродуктивных животных, например, хомяков, до крупных животных, например, слонов или КРС;

- визуализация, т.е. возможность создания 3D-моделей «пациента», что дает возможность планирования лечения, включая хирургические вмешательства;

- позиционирование, т.е. возможность быстрого и точного расположения протезов и имплантов на основе цифровых моделей, что снижает риски для животного, сокращая время реабилитации;

- биосовместимость, т.е. возможность получения изделий из материалов, не вызывающих отторжение со стороны иммунной системы или тканей организма животного, например, титановых сплавов или биосовместимых полимеров;

- гладкость, т.е. возможность получения изделий с низкой шероховатостью, например, путем двухэтапной обработки протезов (гидроабразивной и лазерной), полученных путем порошковой 3D-печати, что снизит травмируемость тканей и бактериальное заражение и увеличит срок службы;

- скорость, т.е. получение изделий в том числе сложной формы в кратчайшие сроки;

- доступность, т.е. возможность получения конкретных решений непосредственно в условиях ветеринарных клиник;

- низкая себестоимость, т.е. возможность получения уникальных изделий по низкой цене (по сравнению с заказом в специализированных центрах, занимающихся изготовлением протезов).

Проведя обзор литературы и открытых интернет-источников выявлены основные направления и примеры применения аддитивных технологий в ветеринарной практике:

- ортопедия и хирургия – изготовление эндопротезов суставов, краниопластика, индивидуальные фиксаторы и т.д.;
- протезирование – реконструкция поврежденных внешних костно-роговых элементов (клювов птиц, панцирей черепахи, копыт скота и т.д.);
- стоматология и челюстно-лицевая хирургия – изготовление индивидуальных дентальных имплантов, хирургических шаблонов для точного позиционирования и т.д.;
- хирургическое планирование и обучение – создание точных анатомических цифровых моделей по данным компьютерной томографии для предоперационного планирования и отработки навыков;
- индивидуальные вспомогательные устройства – протезы, ортопедические биндажи и другие устройства для реабилитации.

Определенный интерес вызывают направления, связанные с созданием базы 3D-моделей, что позволит ветеринарным клиникам применять быстрые решения, что особенно актуально в экстренных ситуациях.

Выбор материала для аддитивного производства в ветеринарии является критически важным этапом, определяющим не только механические свойства конечного изделия, но и его биосовместимость, долговечность, а также возможность стерилизации и безопасность для пациента. Все материалы, используемые в 3D-печати для ветеринарных целей, можно условно разделить на три большие группы: металлы и сплавы (для несущих имплантов), биосовместимые высокотемпературные полимеры (для долгосрочной имплантации) и конструкционные и вспомогательные полимеры (для ортезов, протезов, моделей и временных устройств).

Металлические материалы обеспечивают максимальную прочность и жесткость, что делает их незаменимыми при замещении участков костной системы, испытывающих высокие нагрузки. Наиболее востребован титан и его сплав Ti6Al4V, обладающий отличной коррозионной стойкостью, способностью к остеоинтеграции (врастанию костной ткани) и низким модулем упругости, близким к костной ткани. Нержавеющая сталь (например, 316L) несколько дешевле, однако менее биосовместима и тяжелее, поэтому применяется чаще для временных фиксаторов и инструментов.

Биосовместимые полимеры класса РЕЕК (полиэфирэфиркетон) и медицинского полиамида занимают промежуточное положение между металлами и стандартными пластиками. Они химически инертны, не вызывают отторжения, имеют модуль упругости, близкий к кортикальной кости, и позволяют создавать импланты, которые не экранируют рентгеновское излучение (не дают артефактов на КТ). Основное применение - краниопластика, межпозвонковые кейджи, индивидуальные импланты лицевого скелета.

Конструкционные и вспомогательные полимеры используются для изготовления устройств, не контактирующих с внутренней средой организма длительное время, либо контактирующих через неповреждённые покровы. PLA (полилактид) и PETG - популярные и доступные материалы для FDM-печати, однако они не предназначены для долгосрочной имплантации (PLA биоразлагаем, PETG может вызывать воспаление при контакте с кровью). Нейлон (полиамид) характеризуется высокой износостойкостью и эластичностью, подходит для шарнирных соединений протезов. Фотополимерные и эпоксидные смолы (включая медицинские классы) обеспечивают высокую детализацию и гладкость поверхности, незаменимы для хирургических шаблонов и анатомических моделей. Термополиуретан (TPU) - единственный в этом списке эластомер, позволяющий печатать гибкие, амортизирующие элементы: ортезы с зонами кастомизированной жёсткости, мягкие чехлы протезов, элементы, контактирующие с нежной кожей или опилками (у копытных).

Для несущих имплантов, интегрируемых в костную систему, оптимальным является титановый сплав Ti6Al4V, тогда как для разработки индивидуальных ортезов и протезов конечностей наиболее востребованы термополиуретан (TPU) и нейлон благодаря сочетанию эластичности и износостойкости. В учебных же целях экономически оправдано применение PLA и PETG.

Список использованной литературы

1. Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В. Аддитивные технологии и высшая школа // Высшая школа. 2021. № 1. С. 38–43.
2. Акчурин С. Использование цифровых технологий в практике работы ветеринарных клиник / С. Акчурин, Г. Дюльгер, И. Акчурина [и др.] // Ветеринария сельскохозяйственных животных, №9, 2024.
3. Ляпков А.А. Полимерные аддитивные технологии: учебное пособие для вузов / А.А.Ляпков, А.А.Троян. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 120 с.
4. Зеленецкий Н.В. Анатомия животных. Практикум: учебное пособие для вузов / Н.В. Зеленецкий, М.В. Щипакин, К.Н. Зеленецкий. – Санкт-Петербург: Лань, 2026. – 696 с.
5. Бережная, И.Ш. 3D-моделирование как фактор повышения качества агроинженерного образования / И.Ш. Бережная // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. Актуальные проблемы животноводства: Материалы международной научно-практической конференции, в честь 5-летия Центра Российско-Белорусского сотрудничества, дополнительного образования, содействия трудоустройству обучающихся, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 года. – Нижний Новгород: ФГБОУ ВО «Нижегородская ГСХА», 2020. – С. 13–16.
6. Бережная, И. Ш. Особенности применения аддитивных технологий / И. Ш. Бережная // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке : Материалы национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти д.т.н., профессора Вендина Сергея Владимировича, Майский, 15 ноября 2024 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. – С. 8-9. – EDN BCTQSH.