

Научная статья

Original article

УДК 331.101.1

doi: 10.55186/2413046X\_2022\_7\_7\_394

**ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО  
ТОМОГРАФА С УЧЕТОМ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
DESIGN-DESIGN OF MAGNETIC RESONANCE IMAGING TAKING INTO  
ACCOUNT ERGONOMIC FACTORS**



**Зеленцова Наталья Федоровна**, к.т.н., доцент кафедры СМ10, ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, E-mail: [pedagog.zel@gmail.ru](mailto:pedagog.zel@gmail.ru)

**Ивченко Даниил Денисович**, ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, E-mail: [danhiksky123@yandex.ru](mailto:danhiksky123@yandex.ru)

**Zelentsova Natalia Fedorovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the SM10 Department, Bauman Moscow State Technical University, E-mail: [pedagog.zel@gmail.ru](mailto:pedagog.zel@gmail.ru)

**Ivchenko Daniil Denisovich**, Moscow State Technical University. N.E. Bauman, E-mail: [danhiksky123@yandex.ru](mailto:danhiksky123@yandex.ru)

**Аннотация.** В настоящая время, достижения науки позволяют создавать высокотехнологичные устройства. Отрасль магнитно-резонансной томографии развивается так же стремительно, как сфера компьютерных технологий. В 2022 году сверхпроводящие магниты, которые нуждаются в постоянном охлаждении, могут содержать в себе около 8 литров жидкого гелия, при этом эффективность охлаждения остается неизменной, а расход гелия сокращается. В томографах выпущенных в начале 2010-х годов, количество гелия, в сверхпроводящих магнитах, могло достигать значений, превышающих 1000 литров. В работе описан

принцип построения проекта дизайна магнитно-резонансного томографа с учетом эргономических факторов, описана история создания и проектирования дизайна первого устройства для выявления динамики развития внешнего вида устройства. Данная статья направлена на обоснование того, что аппараты магнитно-резонансной томографии должны быть более комфортными для людей, в целях улучшения их общего психологического и физического состояния.

**Abstract.** Currently, the achievements of science allow us to create high-tech devices. The magnetic resonance imaging industry is developing as rapidly as the field of computer technology. In 2022, superconducting magnets that need constant cooling can contain about 8 liters of liquid helium, while the cooling efficiency remains unchanged, and the consumption of helium is reduced. In tomographs released in the early 2010s, the amount of helium in superconducting magnets could reach values exceeding 1000 liters. The paper describes the principle of constructing a design project for a magnetic resonance tomograph taking into account ergonomic factors, describes the history of the creation and design of the design of the first device to identify the dynamics of the development of the appearance of the device. This article is aimed at substantiating the fact that magnetic resonance imaging devices should be more comfortable for people in order to improve their overall psychological and physical condition.

**Ключевые слова:** магнитно-резонансный томограф, дизайн-проектирование, эргономика, разработка МРТ, требования, ГОСТ, магнит.

**Keywords:** magnetic resonance imaging, design engineering, ergonomics, MRI development, requirements, GOST, magnet

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) стал популярным методом формирования послойных изображений внутренней структуры органов. Это не случайно. Метод МРТ прошел стремительный поэтапный цикл развития, начиная со дня открытия. Сегодня почти каждая больница или клиника для диагностики патологии имеет один или несколько МР сканеров, позволяющих получать более точные и четкие изображения внутренних органов. В настоящее время метод продолжает активно развиваться.

Магнитно-резонансная томография основана на регистрации сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) с использованием неоднородных магнитных полей, обеспечивающих пространственное кодирование Ларморовых частот, т.е. частот прецессии ядерных магнитных моментов в присутствии внешнего поляризующего поля. От способа кодирования и радиочастотного возбуждения (РЧ) ядерных спинов (параметров сканирующей импульсной последовательности) зависит способ обработки сигналов ЯМР, благодаря которому получается МР-изображение.

Прежде чем еще более подробно разобраться в методе МРТ, стоит углубиться в его историю. 1973 год принято считать моментом появления МРТ. Профессор Пол Лотербур получил публикацию своей статьи в журнале "Nature". В статье были представлены пространственные изображения объектов, полученных благодаря явлению ядерного магнитного резонанса протонов водорода. В 1975 году Ричард Эрнст предложил проведение МРТ с применением частотного и фазового кодирования – именно этот метод, который существует и в настоящее время. Частотное кодирование представляет собой исследование объекта без градиента и регистрацию сигнала в присутствии. Фазовое кодирование представляет собой обратный процесс, сигнал регистрируют в присутствии градиента.

Как аппараты для клинических исследований тела человека, магнитно-резонансные томографы появились в начале 1980-х годов. Спустя 10 лет в мире уже работало около 6000 единиц медицинской техники, большая часть которой располагалась на территориях США и Японии. Это показывает, что магнитно-ядерная томография востребована и стремительно развивается. Об актуальности томографов будет изложено ниже.

В настоящее время магнитно-ядерная томография является отдельной областью медицины, которая может играть решающую роль в диагностике заболеваний. Современная аппаратура может показать изображение внутренних органов человека в невероятной близости. Медицинская интроскопия решает две

независимые задачи. Первая – это собственно визуализация внутренних органов (т.е. определение их формы, размеров, расположения и т.д.). Вторая – определение характеристик биологических тканей, т.е. тех или иных физических, физико-химических и иных свойств биологических тканей, а также характера их функционирования. Достоинства каждого из методов проявляются (и будут еще сильнее проявляться в будущем) при решении второй задачи, в частности, при анализе специфики взаимодействия излучения, используемого для визуализации, с различными биологическими тканями в организме. Определение их характеристик может основываться как на эмпирической корреляции параметров регистрируемых сигналов со свойствами конкретной ткани, как, например, в случае с ультразвуковой визуализацией, так и на строгом физическом описании процессов взаимодействия излучения с веществом, как в случае пространственно-локализованной ЯМР-спектроскопии).

Способ магнитно-резонансной томографии имеет несколько отличительных особенностей. Первой можно считать положение исследуемого объекта и излучателя с приёмником, которые неподвижны относительно друг друга. Второй особенностью является необходимость в наличии постоянного однородного магнитного поля. Третья особенность заключается в безопасности таких исследований, ведь доза облучения, полученная объектом при исследовании, незначительна.

Опишем основные этапы разработки магнитно-резонансного томографа, рассматриваемые в статье. Выделяют три основных этапа – описание требований к компоновке, поиск стилевого решения, финальное проектирование.

Выявление требований к компоновочному решению, при помощи которых, будет достигнуто улучшение эргономики, повышение комфорта использования, а также значительно уменьшится размер установки с ВЧ-катушками и остальным оснащением.

Поиск стилевого решения – важный этап компоновки основных необходимых компонентов изделия. Данный этап включает в себя: составление

стилевых планшетов, поисковое эскизирование, поисковое 3D-моделирование, разработка названия и логотипа.

Финальное проектирование включает в себя: финальное 3D-моделирование, финальный эскиз, проработанное, с точки зрения эргономики, компоновочное решение, макетирование, исследование возможных стратегий продвижения на рынке, анимация.

В ходе выполнения данных ступеней разработки, будет представлено несколько первоначальных концепций. К финалу разработки будет представлена итоговое дизайн решение магнитно-резонансного томографа, анимированный ролик, подробная взрыв-схема, макет томографа, презентационный материал, плакаты, 3D модели в формате STL.

Прежде чем приступить к переработке компоновочного решения, стоит понять какие существуют требования для разработки магнитно-резонансного томографа. На таблице 1 ниже представлен перечень нормативных документов, которым должен соответствовать магнитно-резонансный томограф со сверхпроводящим магнитом.

**Таблица 1. Перечень нормативных документов**

<b>Обозначение</b>	<b>Наименование</b>
ГОСТ Р МЭК 60601-1-2010	Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик
ГОСТ Р МЭК 60601-1-2-2014	Изделия медицинские электрические. Часть 1-2. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик. Параллельный стандарт. Электромагнитная совместимость. Требования и испытания
ГОСТ Р МЭК 60601-2-33-2020	Изделия медицинские электрические. Часть 2-3. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к медицинскому диагностическому оборудованию, работающему на основе магнитного резонанса
ГОСТ Р МЭК/ТО 60788-2009	Изделия медицинские электрические. Словарь

Из представленных выше нормативных документов можно выделить несколько требований:

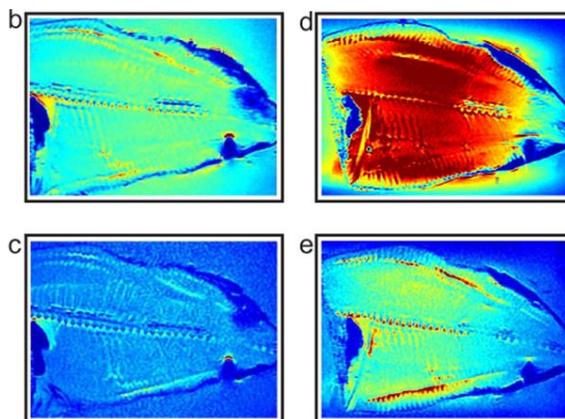
1. При проектировании МР-оборудования не исключается возможность его установки в помещении, где присутствует ограниченный речевой и визуальный контакт с пациентом, в техническом описании должны быть представлены соответствующие требования к изменению планировки комнаты и дизайна оборудования с целью обеспечения речевого и визуального контакта с пациентом в течение МР-исследования. речевые и визуальные контакты являются достаточным условием для проведения мониторинга и медицинского контроля пациента.

2. Проектируемые и разрабатываемые изделия при использовании в предназначенных для них условиях не подвергают опасности пациентов или здоровье пользователей, предполагая, что любые риски, связанные с использованием данных изделий, являются оправданными при оценке соотношения риск/польза в сочетании с высоким уровнем безопасности.

В настоящее время корпус высокопольных магнитно-резонансных томографов представляет цельную конструкцию, чаще всего внешне включает в себя громоздкое кольцо и элементы, прилегающие к нему. Выделим несколько элементов для модернизации с учетом эргономических факторов – среди них стол и компоновка магнитных колец и элементов охлаждения.

Стол представляет из себя отдельную конструкцию, которая присоединяется к основному корпусу томографа, позже лента затягивает пациента внутрь аппарата и происходит процесс сканирования. В новой конструкции стол является разделяемой конструкцией с механизмом перемещения лежачего места, для коррекции местоположения пациента. Это решение позволит повысить комфорт пациента при длительных исследованиях. Менее подвижное место для человека, проходящего исследование, позволяет сделать его более эргономичным, за счет анатомической формы. Под слоем геля, который обеспечивает анатомически верное расположение, находится участок заполненный метаматериалом. Технология метаматериалов основывается на исследованиях природы преломления света. Исследования показали, что коэффициент

преломления может быть отрицательным, при определённых свойствах материала, а именно данные материалы позволяют отрицательно преломлять электромагнитные волны радиочастотного диапазона. Главным недостатком метаматериалов является узкий рабочий диапазон, так как технологически они могут резонировать только на одной частоте. МРТ так же работают на ограниченном диапазоне резонанса ядер, следовательно, метаматериалы отлично показывают себя в томографии. Метаматериал состоит из структурно упорядоченных мета-атомов, которые представляют из себя упорядоченные структуры из проводников меньшего размера, чем размер отражаемой волны. Влияние метаматериалов на исследования заключается в увеличении контрастности получаемых изображений, а также повышении их качества. На рисунке ниже представлены результаты сканирования, занявшего 1200 секунд, нижний ряд является результатом сканирования продолжительностью в 120 секунд. (рис. 1)



**Рисунок 1. Разница между обычным сканированием и сканированием с метаматериалом**

Очевидно, что изображения, сделанные с применением метаматериалов, обладают большей детализацией и контрастностью. Производство метаматериалов в 2022 году представляет из себя сложный технологический процесс, так как изготовление такого типа деталей, а также последующее упорядочивание крайне затруднительно. Данный процесс является одним из

самых передовых в наше время, но в дальнейшем разработки позволят создавать необходимые структуры дешевле и комфортнее.

На 2022 год магнит является уже не таким громоздким приспособлением. Однако существующие томографы всё так же представляют из себя не малогабаритные конструкции. Это является следствием, того, что множество оборудования находится внутри кольца. Новая компоновка будет включать отделённое магнитное кольцо, которое способно приходить в движение при сканировании пациента. Движение осуществляется при помощи двух моторов, выполненных из немагнитной стали. Проблема калибровки магнитного поля решается при помощи специализированного вычислительного оборудования, которое на основе современных технологий нейронных вычислений, может задавать правильные параметры за минимально возможное время.

Магнитно-резонансные томографы в своем корпусе совмещают, элементы охлаждения, приемные устройства, вычислительную технику, средства преобразования сигнала. Снижение значительных габаритов магнитного кольца привело к изменению компоновки и месторасположения вычислительного блока, системы охлаждения, приемных антенн, а также усилителей. Данное решение позволяет получить более обширный доступ к компонентам. Благодаря этому обслуживание аппарата будет вызывать меньше дискомфорта.

Основываясь на представленных выше эргономических и инженерных факторах, был проведен эскизный поиск проектируемого магнитно-резонансного томографа. Первый скетч представляет из себя стандартный высокопольный томограф. Он был создан для изучения строения аппаратов такого типа. После изучения компоновки высокопольных магнитно-резонансных томографов, была проведена её переработка. Было разработано несколько концепций. Первый вариант (рис. 2) является вариацией компоновки с перенесёнными в правый угол элементами охлаждения, преобразователями и антеннами.



Рисунок 2. Эскиз первой версии МРТ

Параллельно поисковому эскизированию, вёлся процесс поискового 3D моделирования. 3D модель дает представление о том, как может располагаться предмет в пространстве. Способ 3D моделирования крайне полезен при проектировании. Благодаря этому при разработке компоновки магнитно-резонансного томографа, можно выявить недостатки и проблемы того или иного решения. Была создана черновая 3D модель, опираясь на эскиз первой компоновки. (рис. 3)

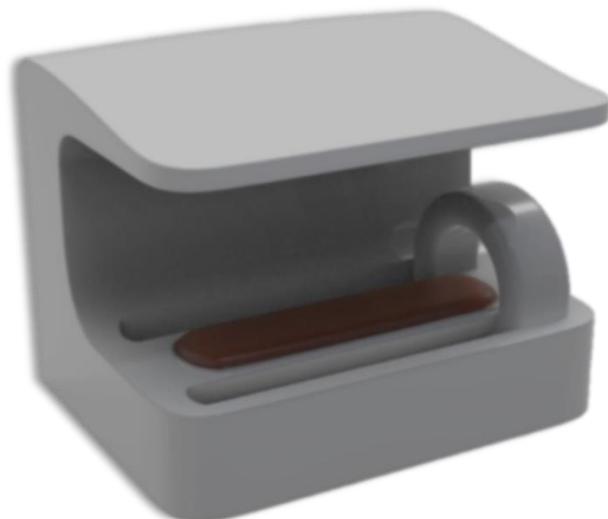


Рисунок 3. 3D модель первой версии МРТ

Последним этапом дизайн-проектирования является эргономическая оценка спроектированной модели. Ниже представлена эргономическая сетка МРТ (рис. 4). На представленной схеме, шаг сетки равен 250 мм, однако для удобства визуального восприятия миллиметры переведены в сантиметры. Такой нестандартный шаг использован также для повышения качества визуального восприятия. Эргономика эксплуатации магнитно-резонансного томографа учитывалась при его разработке. На схеме представлены модели людей, чей рост составляет 175 см, это является средним ростом всех мужчин в мире. Благодаря сетке, так же можно узнать размеры томографа. МРТ достигает 340 см в длину, 150 см в высоту, 170 см в ширину.

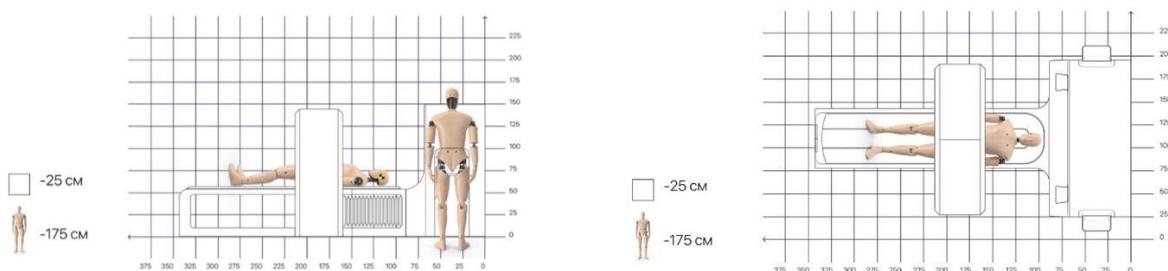


Рисунок 4. Эргономическая сетка спроектированного изделия

В результате проведенных исследований и работ по разработке дизайн-решения цифрового устройства МРТ были выполнены следующие задачи:

- Изучены принципы работы магнитно-резонансных томографов;
- Изучены технологии производства, а также все современные технологии, применяемые в МРТ;
- Изучены материалы, применяемые в томографах;
- Проведён поиск стиливого и компоновочного решения. Во время поиска были разработаны поисковые 3D модели.

#### **Список источников**

1. Уэстбрук К., Рот К., Тэлбот Д. Магнитно-резонансная томография : практическое руководство : пер. с англ. И. В. Филипповича под ред. Ж.В. Шейх, С.М. Горбунова. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. 451 с.
2. Летягин, А.Ю. Магнитно-резонансная томография: возможности современной визуализационной технологии в клинической диагностике [Текст] / А. Ю. Летягин, А.А.Тулупов, А.А. Савелов, А.М. Коростышевская. – М.: Изд-во НГУ, 2004. – 63с.
3. Цифровые технологии в дизайне. История, теория, практика: учебник и практикум для вузов / А. Н. Лаврентьев [и др.] ; под ред. А. Н. Лаврентьева. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2019. — 208 с.
4. Шокорова, Л. В. Стилизация в дизайне и декоративно-прикладном искусстве / Л. В. Шокорова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 74 с.
5. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для бакалавров / Л.А. Бессонов. - М.: Юрайт, 2015. -701 с.
6. ГОСТ 21033 – 75. Система «человек – машина». Основные понятия. Термины и определения.
7. ГОСТ 21034 – 75. Система «человек – машина». Рабочее место человека-оператора. Термины и определения.

8. Donald W. McRobbie, Elizabeth A. Moore, Martin J. Graves and Martin R. Prince. MRI: From Picture to Proton. — 2-е изд.. — New York: Cambridge University Press, 2006. — С. 89, 137.

9. Кремнева Елена Игоревна, Коновалов Р. Н., Кротенкова М. В. Функциональная магнитно-резонансная томография // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2011. №1.

10. Шеховцов, В. П. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник/ В.П. Шеховцов. - 3-е изд. - Москва: ИНФРА-М, 2019. - 407 с.

### References

1. Уе`стбрук К., Рот К., Те`лбот Д. Магнитно-резонансная томография : практическое руководство : пер. с англ. И. В. Филипповича под ред. Zh.V. Shejx, S.M. Gorbunova. М. : Binom. Laboratoriya znaniy, 2015. 451 s.

2. Letyagin, A.Yu. Магнитно-резонансная томография: возможности современной визуализационной технологии в клинической диагностике [Текст] / А. Ю. Летыгин, А.А.Тулупов, А.А. Савелов, А.М. Коросты`шевская. – М.: Изд-во NGU, 2004. – 63s.

3. Цифровые технологии в дизайне. История, теория, практика: учебник и практикум для вузов / А. Н. Лаврент`ев [и др.] ; под ред. А. Н. Лаврент`ева. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Юрайт, 2019. — 208 с.

4. Shokorova, L. V. Stilizaciya v dizajne i dekorativno-prikladnom iskusstve / L. V. Shokorova. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Izdatel`stvo Yurajt, 2019. — 74 s.

5. Bessonov, L.A. Teoreticheskie osnovy` e`lektrotexniki. E`lektricheskie cepi: Uchebnik dlya bakalavrov / L.A. Bessonov. - М.: Yurajt, 2015. -701 s.

6. GOST 21033 – 75. Sistema «chelovek – mashina». Osnovny`e ponyatiya. Terminy` i opredeleniya.

7. GOST 21034 – 75. Sistema «chelovek – mashina». Rabochee mesto cheloveka-operatora. Terminy` i opredeleniya.

8. Donald W. McRobbie, Elizabeth A. Moore, Martin J. Graves and Martin R. Prince. MRI: From Picture to Proton. — 2-е изд.. — New York: Cambridge University Press, 2006. — S. 89, 137.

9. Kremneva Elena Igorevna, Konovalov R. N., Krotenkova M. V. Funkcional'naya magnitno-rezonansnaya tomografiya // Annaly` klinicheskoy i e`ksperimental`noj nevrologii. 2011. №1.

10. Shexovczov, V. P. E`lektricheskoe i e`lektromexanicheskoe oborudovanie: uchebnik/ V.P. Shexovczov. - 3-e izd. - Moskva: INFRA-M, 2019. - 407 s.

**Для цитирования:** Зеленцова Н.Ф., Ивченко Д.Д. Дизайн-проектирование магнитно-резонансного томографа с учетом эргономических факторов // Московский экономический журнал. 2022. № 7.

URL: <https://qje.su/ekonomicheskaya-teoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-7-2022-4/>

© Зеленцова Н.Ф., Ивченко Д.Д., 2022. Московский экономический журнал, 2022, № 7.