

УДК 747.012

## Эргономика в дизайне больниц: формирование будущего медицинских учреждений

Гросси Ф.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный университет Северо-Востока, Аргентина

**Аннотация.** Исследование посвящено методологии эргономики в проектировании больничных структур. Этот подход является антропоцентрическим и ставит врачей и пациентов в центр проекта. Специалист по эргономике возглавляет рабочую группу, задачей которой является предоставление проектировщикам рекомендаций, направленных на достижение таких результатов, как безопасность, качество и эргономическое совершенство. Существующие структуры больниц в значительной степени не приспособлены для использования современных технологий анализа, визуализации и лечения. Их интеграция сопряжена с рисками и проблемами. При проектировании новых больниц необходимо учитывать площади и требования, связанные как с увеличением продолжительности жизни, так и с постоянным развитием технологических систем в медицине. Это необходимо, по крайней мере, на ближайшие двадцать лет.

**Ключевые слова:** дизайн больниц, искусственный интеллект, цифровые двойники, эргономичный дизайн

**Для цитирования:** Гросси Ф.К. Эргономика в дизайне больниц: формирование будущего медицинских учреждений // Архитектура. Реставрация. Дизайн. Урбанистика, 2024, 1 (3), с. 245-260

## Ergonomics in Hospital Design: Shaping the Future of Healthcare Facilities

Grossi F. C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of the Northeast, Argentina

**Abstract.** In this work, we aim to outline the methodology brought by Ergonomics regarding the design of hospital structures. This approach is anthropocentric, placing doctors and patients at the center of the project. The ergonomist serves as the leader of the work group, with the objective of providing designers with guidelines aimed at achieving results of safety, quality, and ergonomic excellence. Current hospital structures are largely inadequate to accommodate modern analysis, imaging, and treatment technologies. Their integration poses risks and challenges. When designing new hospitals, consideration must be given to the spaces and requirements arising from both increased life expectancy and the continuous development of technological systems in medicine. This is imperative for at least the next twenty years.

**Keywords:** hospitals design, artificial intelligence, digital twins, ergonomic design

**For citation:** Grossi F. C. Ergonomics in Hospital Design: Shaping the Future of Healthcare Facilities // Architecture. Restoration. Design. Urban science, 2024, 1 (3), p. 245-260

### 1. Введение

Данная статья направлена на формирование базовых основ знаний для эффективного использования эргономических принципов, применяемых при проектировании больниц и медицинских учреждений. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определяет больничные учреждения следующим образом: «Все виды деятельности и люди, основной целью которых является

укрепление, восстановление или поддержание здоровья, являются частью сектора здравоохранения»<sup>1</sup>. В частности, с практической точки зрения необходимо отметить, что благодаря использованию методов, присущих эргономичному дизайну, есть возможность предвосхищать потребности пациентов и операторов, а также потребности, связанные с инновационными процессами и продуктами в медицине, хирургии и клинической практике, зоны обслуживания в соответствии с нормативными актами и функциональными и производственными ограничениями. В основе принципов проектирования медицинских учреждений лежит удовлетворение потребностей в безопасности и качестве, в будущем необходим переход к эргономическому качеству, которое является предметом данного предварительного обсуждения.

## **2. Результаты и обсуждение**

### **Безопасность при проектировании больниц**

Вопросы безопасности при проектировании медицинских учреждений в настоящее время чрезвычайно актуальны и имеют решающее значение, особенно в связи с национальными и международными законодательными положениями, направленными на регулирование отраслей, которые еще несколько лет назад были в основном предоставлены на усмотрение заинтересованных сторон [1]. Внедрение элементов безопасности в архитектурный проект имеет важное значение для обеспечения безопасности пациентов, персонала и посетителей. Понятие безопасности включает в себя контролируемые точки доступа, стратегически расположенные камеры наблюдения и тревожные кнопки по всему зданию. Входы и парковочные зоны должны быть оборудованы системами контроля для обеспечения безопасной обстановки и предотвращения несанкционированного доступа или преступной деятельности. Во всех помещениях должно быть организовано надлежащее освещение для оптимизации видимости, что позволит свести к минимуму риски и предотвратить несчастные случаи. Кроме того, крайне важно внедрить технологические системы, способные выполнить оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации.

### **Безопасность при помощи указателей и маршрутов**

Четкие ориентировочные знаки необходимы для безопасной навигации по всему учреждению, а маршруты передвижения по больнице должны быть разработаны таким образом, чтобы они были интуитивно понятны и не вызывали путаницы и стресса у пациентов, посетителей и персонала. При создании ориентировочных знаков следует учитывать такие факторы, как размер шрифта, цветовой контраст и расположение, чтобы они были более удобочитаемыми для людей всех возрастов и способностей, обеспечивая эффективное движение как пешеходов, так и транспортных средств на территории больницы. Для пациентов, посетителей и обслуживающего персонала должны быть выделены отдельные маршруты, чтобы предотвратить

---

<sup>1</sup> World Health Organization. The World health report 2000: Health systems: improving performance. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42281>.

заторы и упростить передвижение, а также места высадки и хорошо обозначенные автостоянки для легкого доступа. При архитектурном проектировании больницы приоритетное внимание должно уделяться доступности для всех людей, включая пациентов с ограниченными возможностями или ограниченной подвижностью. Следует уделить внимание оборудованию пандусов, лифтов и просторных коридоров для облегчения передвижения внутри здания. Естественное освещение и вентиляция должны быть максимально задействованы в архитектурной планировке, чтобы создать благоприятную среду для лечения и уменьшить зависимость от искусственного освещения, что достигается за счет больших окон, мансардных окон и атриумов, которые обеспечивают естественное освещение палат пациентов, зон ожидания и коридоров, тем самым улучшая самочувствие пациентов и персонала при одновременном снижении энергопотребления. Предотвращение падений имеет первостепенное значение, поэтому необходимо проектировать нескользящие полы, поручни вдоль коридоров и лестниц и достаточное освещение во всех помещениях, чтобы свести к минимуму риски и препятствия, такие как углы, кромки или неровный пол.

#### Проектирование для борьбы с распространением инфекций

Архитектурный проект должен включать в себя конкретные элементы, направленные на предотвращение инфекций и борьбу с ними. Палаты для пациентов должны быть оборудованы надлежащими системами вентиляции, чтобы свести к минимуму распространение патогенных микроорганизмов воздушно-капельным путем, использовать простые в очистке и дезинфекции материалы в местах с интенсивным движением, таких как коридоры и залы ожидания, и предусматривать конфигурацию помещений, обеспечивающую достаточную дистанцию во время эпидемий или пандемий. Следует также предусмотреть специальные изолированные зоны для борьбы с инфекционными заболеваниями и эпидемиями [2].

#### Реагирование на чрезвычайные ситуации и устойчивость к стихийным бедствиям [3]

Архитектурный проект должен включать элементы, обеспечивающие быстрое реагирование на чрезвычайные ситуации, включая стратегически расположенные аварийные выходы, огнетушители и пути эвакуации по всей больнице. Требуется обозначение зон безопасности для пациентов и персонала в случае стихийных бедствий или угроз безопасности. Средства реагирования на чрезвычайные ситуации и обеспечения безопасности должны быть эргономичны и легкодоступны во время кризисных ситуаций. Необходимо проектирование аварийных выходов, путей эвакуации и мест хранения аварийного оборудования с учетом эргономики, чтобы обеспечить быстрое и эффективное реагирование. Важно проектировать больницы таким образом, чтобы они были устойчивы к стихийным бедствиям и другим чрезвычайным ситуациям, включая усиление конструкций, такое как сейсмостойкие строительные материалы и системы резервного электроснабжения, для поддержания критически важных функций во время кризисов. Требуется,

кроме того, учет расположения больницы относительно пойм рек или зон землетрясений и принятие соответствующих мер по смягчению последствий.

#### Защита частной жизни

Проектирование палат и консультационных зон должно быть выполнено с акцентом на неприкосновенность частной жизни и достоинство, обеспечивая достаточное пространство между кроватями или смотровыми зонами для сохранения конфиденциальности во время бесед между пациентами и медицинскими работниками. Необходимо принять меры по звукоизоляции, чтобы свести к минимуму шумовые помехи и улучшить общее впечатление от больницы для пациента.

#### **Качество [4]**

Международная организация по стандартизации (ISO) определяет качество как «совокупность свойств и характеристик продукта или услуги, которые влияют на их способность удовлетворять заявленные или подразумеваемые потребности». Другими словами, понятие «качество» охватывает внутренние свойства и характеристики продукта или услуги, которые позволяют удовлетворить заявленные или неявные потребности, обеспечивая полное удовлетворение потребностей клиентов. Сегодня процессы сертификации качества регулируются стандартами ISO 9000 (рис. 1).



Рис. 1. Символы стандарта ISO 9000  
(Источник: <https://www.iso.org/home.html>)

Важнейшим аспектом качества сегодня является проектирование больниц с акцентом на устойчивость и экологическую ответственность, чтобы минимизировать выбросы углекислого газа и способствовать экономии ресурсов. Это предполагает внедрение энергоэффективных систем здания, таких как освещение, HVAC, кондиционирование воздуха и управление водоснабжением, для снижения энергопотребления и эксплуатационных расходов<sup>2</sup>. Кроме того, это требует интеграции зеленых зон, садов на крышах и устойчивых ландшафтов для улучшения природной среды, способствуя заживлению ран и создания архитектурных пространств, способствующих сотрудничеству и коммуникации между медицинскими бригадами, тем самым улучшая уход за пациентами и их безопасность.

---

<sup>2</sup> HVAC – это аббревиатура, которая расшифровывается как отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Термин HVAC используется для описания комплексной системы обеспечения комфорта в здании, которая может использоваться для обогрева и охлаждения здания, а также для обеспечения улучшенного качества воздуха в помещении.

Необходимо проектирование междисциплинарных рабочих мест, конференц-залов и секционных зон, где сотрудники могут эффективно обмениваться информацией и поддерживать друг друга. Кроме того, крайне важно интегрировать технологические решения и гибкую расстановку мебели для адаптации к постоянно меняющимся потребностям здравоохранения. Интеграция технологий в архитектурный дизайн будет способствовать эффективному оказанию медицинской помощи и улучшению ухода за пациентами. Это предполагает внедрение цифровой инфраструктуры для электронного ведения медицинской документации, возможностей телемедицины и систем медицинской визуализации, а также проектирование помещений с достаточным количеством розеток, подключением к данным и ИТ-инфраструктурой для поддержки использования медицинских устройств и оборудования. Наконец, важно использование высококачественных материалов и строительных технологий, соответствующих нормативным стандартам и требованиям к долговечности. Материалы следует выбирать с учетом их износостойкости, простоты обслуживания и экологической устойчивости, а также сотрудничать с надежными подрядчиками и поставщиками, чтобы обеспечить целостность и долговечность больничной инфраструктуры.

#### **Эргономический подход [5]**

Для эффективной реализации эргономического подхода требования к безопасности и качеству должны быть удовлетворены уже на этапе проектирования. Следовательно, необходимо учитывать, что сегодня существует стремление к широкому участию в проектах различных заинтересованных сторон, включая медицинских работников, пациентов, уборщиков и т.д., направленное на сокращение разрыва в эффективности государственного и частного здравоохранения. Эргономический подход, будучи в основе своей методологическим, пригоден для применения в широком спектре видов деятельности человека. Термин «эргономика» происходит от древнегреческих терминов «эргон» (что означает «работа» или «задача») и «номос» (что означает «использование» или «обычай»), обозначающих управление трудовой деятельностью. Текущая цель состоит в том, чтобы внести свой вклад в создание антропоцентрической рабочей среды, учитывающей человеческие ограничения и расширяющей операционные возможности.

Прикладная эргономика систематически рассматривает методы и конкретные этапы любого проекта для достижения антропоцентрической реализации оптимальной адаптации системы, включающей людей, их творения и окружающую среду, к возможностям и психофизиологическим ограничениям людей путем изучения конкретных интерфейсов. В частности, медицинская эргономика проявляется в создании рабочей группы для оценки, проектирования и управления медицинскими условиями, включая новые технологии, организацию и предоставляемые услуги. Кроме того, архитектура больничных зданий и организация управления часто приводят к возникновению серьезных проблем. Разработка концепции медицинской

эргономики начинается с разработки эффективного коммуникационного плана, направленного на вовлечение всех заинтересованных сторон в систему здравоохранения для пересмотра роли больниц. Больницы больше не должны рассматриваться исключительно как места оказания неотложной медицинской помощи, а должны также отвечать за профилактику и общее состояние здоровья граждан. Таким образом, эргономический проект в здравоохранении направлен на обеспечение эффективности системы и удовлетворенности операторов и пациентов, и все это с антропоцентрической точки зрения. Общие принципы, такие как глобальное применение, междисциплинарность<sup>3</sup> и активное участие всех заинтересованных сторон в системе здравоохранения, в равной степени применимы к медицинской эргономике. В частности, специалист по эргономике возглавит проектную группу, которая определит эргономические характеристики, влияющие на качество взаимодействия оборудования с окружающей средой.

Применение принципов эргономики приведет к разработке эргономических параметров, необходимых для оценки эргономических характеристик больничного оборудования/комплексов, что поможет проектировщикам устранить или свести к минимуму возможные ошибки при проектировании. Эргономика охватывает научные дисциплины, которые улучшают качество трудовой жизни медицинских работников и пациентов, обеспечивая необходимые стандарты для разработки надлежащих схем организации рабочей среды, способствуя формированию подлинной «медицинской культуры». Сегодня основной целью эргономики является снижение факторов стресса, связанных с работой, во избежание негативных последствий для здоровья. Факторы стресса, такие как напряжение, неправильная поза и неадекватная конструкция рабочего места, способствуют накоплению травм и повышают риск возникновения многочисленных заболеваний опорно-двигательного аппарата. Кроме того, отсутствие эргономичного дизайна приводит к другим негативным последствиям состояния здоровья, таким как химические/биологические/психосоциальные риски, злокачественные новообразования, несчастные случаи и невыходы на работу по болезни<sup>4</sup>. Следовательно, для повышения стандартов качества как для медицинских работников, так и для пациентов важно внедрить целостную стратегию, разработанную с использованием методологий медицинской эргономики.

### **Проектирование новых больниц с учетом прикладной эргономики**

Интегрируя принципы прикладной эргономики в архитектурный дизайн больниц, медицинские учреждения могут создавать условия, которые улучшают качество обслуживания пользователей, повышают безопасность и способствуют общему благополучию пациентов, посетителей и медицинских работников.

### **Территориальная локализация**

<sup>3</sup> Эргономика зародилась как исследовательский сектор, использующий все научные дисциплины

<sup>4</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4280771/>

Чтобы соответствовать требованиям эргономического качества, в первую очередь необходимо тщательно продумать местоположение нового объекта. Это обеспечивает идеальную интеграцию в окружающую среду и согласуется с обычаями и практикой местного социального сообщества. Доступ к природной среде формирует гармоничное сочетание психологических аспектов пациентов и способствует естественному взаимодействию человека и окружающей среды. Ярким примером ландшафтной интеграции является обширный больничный комплекс на острове Хайнань, расположенный в «субтропическом раю»<sup>5</sup> и спроектированный как «туристическая больница»<sup>6</sup> (рис. 2).



Рис. 2. Больничный комплекс<sup>7</sup>, расположенный на острове Хайнань, Китай

В контексте городского планирования крайне важно учитывать близость автомобильных, железнодорожных объектов и аэропортов. Это предполагает их интеграцию в проектную площадку и привлечение местных сообществ и заинтересованных сторон на протяжении всего процесса проектирования. Такой подход гарантирует, что больничные учреждения являются культурно интегрированными, инклюзивными и отражают ценности и предпочтения местного сообщества. Таким образом, вклад сообщества должен учитываться при проектировании, выборе архитектурных предложений и общественных пространств для создания больниц, которые будут восприниматься как неотъемлемая часть структуры сообщества. Для повышения физической

<sup>5</sup> Расположен на южной оконечности Китая, в 18° к северу от экватора, остров Хайнань имеет ту же долготу, что и Гавайские острова, и отличается субтропическим климатом со средней температурой 24°.

<sup>6</sup> Постановлением правительства Пекина Хайнань был объявлен «мировым центром больничного отдыха класса люкс».

<sup>7</sup> Хайнаньский госпиталь общего профиля, также известный как Хайнаньский научно-исследовательский институт клинической медицины, был основан американским священником в 1881 году как Евангельский госпиталь Хайкоу. В 1927 году евангельская больница объединилась с Хайнаньской больницей и в 1988 году сменила название на Хайнаньскую больницу общего профиля, став, таким образом, самой молодой народной больницей, но с самой долгой историей.

активности пациентов, посетителей и персонала должны быть предусмотрены открытые пространства, в том числе «сады исцеления», а также места для релаксации и снятия стресса. Эти открытые пространства должны быть оборудованы удобными креслами, доступными дорожками и естественным ландшафтным дизайном для улучшения самочувствия и скорейшего выздоровления. [6]

#### Дизайн для всех

Основной задачей в области планирования является удовлетворение пространственных, временных, сенсорных и когнитивных потребностей практически всех пользователей (с учетом таких факторов, как возраст, пол и культура), включая людей с ограниченными возможностями. По сути, цель состоит в том, чтобы удовлетворить требования к удобству использования, функциональности, безопасности, конфиденциальности и ориентации для большинства пользователей больничных учреждений. Особое внимание должно быть уделено дизайну интерьера, обеспечивающему как расположение, так и доступность, чтобы все удобства больницы были доступны людям любого возраста, способностей и уровня мобильности. Архитектурная планировка должна соответствовать принципам «универсального дизайна», включая такие элементы, как широкие коридоры, пандусы и доступные ванные комнаты для размещения пациентов с ограниченными возможностями и пожилых людей, а также сенсорные функции для людей с повышенной чувствительностью или когнитивными нарушениями. Уделяя приоритетное внимание этим эргономическим соображениям при архитектурном проектировании больниц, медицинские учреждения могут создавать условия, способствующие уходу, ориентированному на пациента, операционной эффективности, безопасности и устойчивому развитию, что, в конечном итоге, повышает общее качество оказания медицинской помощи.

#### Дизайн, ориентированный на пациента

В процессе архитектурного проектирования приоритетное внимание необходимо обратить внимание на потребности и опыт пациентов, чтобы создать среду, способствующую комфорту, исцелению и благополучию. Следовательно, значительное внимание следует уделять естественному освещению, спокойным цветовым решениям с использованием технологий «хромовой среды»<sup>8</sup> и доступу к открытым пространствам для улучшения общего впечатления пациентов. Планировка больницы должна быть оптимизирована за счет стратегического расположения ключевых отделений и служб, чтобы свести к минимуму расстояния между пациентами и персоналом и сократить время ожидания. Кроме того, зоны для совместной работы, конференц-залы и места для совещаний должны быть спроектированы таким

---

<sup>8</sup> «Хромовая среда» - это практическая теоретическая модель, относящаяся к окончательному использованию энергии света и цвета, это сложная операционная гипотеза, которая позволяет экспериментировать с цветовыми стимулами в зависимости от того, для чего предназначена среда, сочетая перцептивные ценности цвета с терапевтическими и культурно-эстетическими. В нем используется междисциплинарный подход, который, в частности, ориентирован на область человеческого поведения.

образом, чтобы облегчить обмен информацией и планами по уходу за пациентами среди медицинских работников [7].

### **Больницы будущего**

Внедряя в дизайн больниц ряд передовых архитектурных и инженерных решений, медицинские учреждения могут предвидеть будущие потребности и адаптироваться к предстоящим вызовам и возможностям, обеспечивая их неизменную актуальность в сфере здравоохранения на десятилетия вперед. Ниже представлены ключевые элементы проектирования современных медицинских учреждений как с архитектурной, так и с инженерной точек зрения.

### Экологичность зданий [8]

Использование экологически чистых строительных материалов, энергоэффективных систем и устойчивой инфраструктуры имеет важное значение для минимизации воздействия на окружающую среду и повышения долгосрочной эксплуатационной устойчивости. Сертификация «зеленых» зданий и внедрение стратегий проектирования, адаптированных к климату, могут снизить риски, связанные с изменением климата и нехваткой ресурсов. Проекты должны включать возобновляемые источники энергии.

### Гибкое и модульное проектирование с использованием новых технологий

Внедрение модульных методов строительства и гибких архитектурных решений имеет решающее значение для адаптации к текущим изменениям и постоянному прогрессу в предоставлении медицинских услуг. Интеграция интеллектуальных цифровых технологий в проектирование необходима для повышения эффективности, обеспечения связи и ухода за пациентами. Применение датчиков Интернета вещей, сетей Wi-Fi, волоконно-оптических кабелей, систем мониторинга в режиме реального времени и аналитических платформ на основе искусственного интеллекта позволяет оптимизировать использование ресурсов, рабочие процессы и улучшить клинические результаты за счет принятия решений на основе данных. Внедрение достижений в области биомедицинской инженерии и медицинских технологий предполагает проектирование больничных помещений, оснащенных самым современным оборудованием, хирургическими роботами и передовыми диагностическими инструментами. Создание специальных помещений для научно-исследовательских лабораторий, комплексов визуализации и интеграции медицинского оборудования способствует внедрению инновационных методов здравоохранения [9].

### Гибкие и эргономичные модели оказания медицинской помощи [10]

Поддержка внедрения инновационных моделей оказания медицинской помощи, таких как децентрализованные сети медицинского обслуживания и центры здравоохранения на базе сообществ, требует проектирования больничных помещений, способных к плавной интеграции с развивающимися экосистемами здравоохранения. При проектировании следует уделять приоритетное внимание созданию адаптируемых пространств, пригодных для использования в различных медицинских учреждениях, включая клиники,

центры амбулаторной хирургии и центры телемедицины. Объекты должны способствовать здоровому, активному образу жизни и вовлечению общественности с помощью таких элементов, как пешеходные дорожки, фитнес-центры и зоны отдыха на открытом воздухе. Предоставление гибких зон для встреч, мастерских и технологических инкубаторов развивает междисциплинарное сотрудничество между медицинскими работниками, исследователями и отраслевыми партнерами.

В палатах для пациентов приоритетное внимание должно уделяться эргономике, включая такие опции, как регулируемые кровати, легкодоступные прикроватные тумбочки и мебель, отвечающая потребностям пациентов в комфорте и мобильности. Рабочие места для медицинских работников должны соответствовать принципам эргономики, снижать нагрузку и утомляемость за счет таких факторов, как высота стола, регулируемые стулья и расположение клавиатуры/мыши в течение длительного рабочего дня, а также обеспечивать достаточное освещение, чтобы свести к минимуму блики и нагрузку на глаза. Доступное и эргономично расположенное медицинское оборудование облегчает безопасное и эффективное использование медицинскими работниками. Ниши для оборудования и складские помещения должны сводить к минимуму необходимость для персонала наклоняться, протягивать руки и поднимать их, тем самым снижая риск травм опорно-двигательного аппарата.

Материалы и отделка должны быть простыми в уходе, чтобы создавать безопасные и комфортные условия для пациентов и персонала. Напольное покрытие должно обладать противоскользящими, антимикробными и звукопоглощающими свойствами для повышения безопасности и комфорта. Туалеты и душевые кабины должны быть легкодоступными, оснащенными поручнями, раковинами и регулируемыми насадками для душа для удобства людей с ограниченными физическими возможностями. Здесь следует отметить, что совместно с несколькими дизайнерскими группами студентов Казанского государственного архитектурно-строительного университета были представлены работы на трех Венецианских архитектурных биеннале, в которых предлагались решения, основанные на применении методов, продиктованных эргономикой (рис. 3).

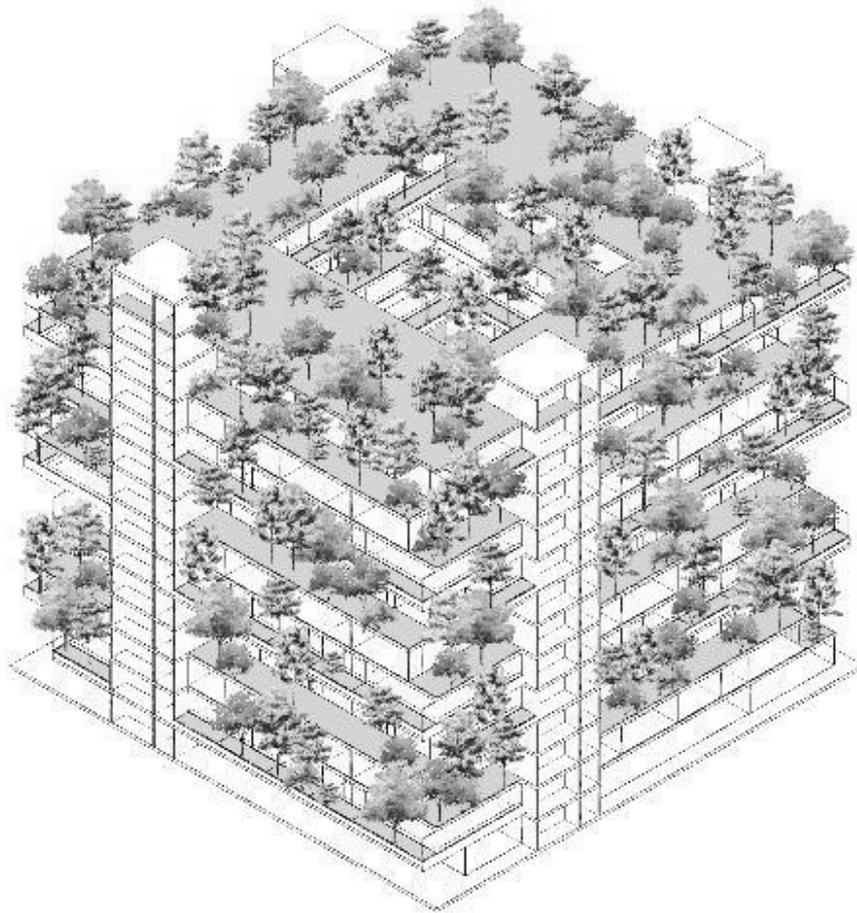


Рис. 3. Рендеринг экологически устойчивого здания,  
(Источник: проект рабочей группы под руководством архитектора Елены Галиаскаровой, выпускницы КГАСУ, был представлен на XVII архитектурной биеннале в Венеции, Италия [11])

### **Использование искусственного интеллекта в архитектурном проектировании больниц [12]**

Интеграция технологий искусственного интеллекта в архитектурный проект больниц может повысить эффективность работы и обеспечить более персонализированный и ориентированный на пациента уход. Интеграция искусственного интеллекта производит революцию в информационном моделировании зданий (BIM) в строительной отрасли, решая проблемы и открывая новые творческие возможности [13].

Искусственный интеллект добился значительных успехов в различных аспектах BIM, включая приложения для обнаружения конфликтов, моделирования энергопотребления зданий, оценки затрат, контроля качества и оптимизации расписания. Прогнозная аналитика на основе искусственного интеллекта может оптимизировать планирование пространства при проектировании больниц, анализируя исторические данные о потоках пациентов, уровне укомплектованности персоналом и использовании оборудования, чтобы прогнозировать будущий спрос и эффективно распределять пространство, гарантируя, что помещения будут спроектированы с учетом растущих потребностей здравоохранения. Кроме того,

интеллектуальные системы управления зданием, основанные на искусственном интеллекте, могут отслеживать и контролировать различные аспекты больничной инфраструктуры, включая освещение, вентиляцию, кондиционирование и безопасность. Эти системы могут оптимизировать потребление энергии, улучшить качество воздуха в помещении и повысить общую эффективность работы, одновременно снижая затраты на техническое обслуживание. Медицинская робототехника, управляемая искусственным интеллектом, может автоматизировать рутинные задачи, помочь в уходе за пациентами и повысить эффективность работы. Роботов можно использовать для таких целей, как доставка лекарств, дезинфекция и управление запасами, что позволяет медицинским работникам сосредоточиться на более сложных задачах с добавленной стоимостью.

Кроме того, технологии на основе искусственного интеллекта, такие как виртуальные помощники, чат-боты и системы распознавания голоса, могут улучшить общее качество обслуживания пациентов в больничной среде, обеспечивая персонализированный уход, ответы на вопросы и удовлетворение потребностей пациентов в режиме реального времени, способствуя более увлекательному и терпеливому общению.

### **Использование цифровых двойников и метавселенной при проектировании больниц будущего**

Используя цифровые двойники и технологии метавселенной в архитектурном проектировании больниц, проектировщики могут предвидеть будущие проблемы, оптимизировать работу учреждений и создавать более отказоустойчивую, устойчивую и ориентированную на пациента среду здравоохранения на десятилетия вперед.

#### Моделирование с использованием цифровых двойников [14]

Цифровые двойники могут создавать виртуальные копии больничных учреждений, позволяя проектировщикам моделировать и тестировать различные архитектурные планировки, размещение оборудования и изучать рабочие процессы до начала строительства. Это позволяет проектировщикам выявлять потенциальные недостатки конструкций, оптимизировать использование пространства и процессы, что в конечном итоге повышает эффективность и результативность больничной среды.

Использование метавселенной в качестве платформы для удаленного сотрудничества и проверки проектов позволяет дизайнерам, заинтересованным сторонам и специалистам здравоохранения виртуально исследовать и взаимодействовать с цифровыми двойниками больничных учреждений из любой точки мира. Это способствует более инклюзивным и эффективным процессам проектирования, обеспечивая более быстрые итерации и лучшее принятие решений. Цифровые двойники в сочетании с инструментами моделирования окружающей среды и анализа устойчивости могут оценить воздействие больничных проектов на окружающую среду и выявить возможности для улучшения.

Проектировщики могут оценивать такие факторы, как потребление энергии, выбросы углекислого газа и образование отходов в контексте

цифровых двойников, чтобы оптимизировать характеристики здания, снизить воздействие на окружающую среду и достичь целей устойчивого развития. Наконец, дизайнеры могут персонализировать палаты пациентов, зоны ожидания и процедурные кабинеты с помощью цифровых копий, чтобы повысить комфорт, удовлетворенность и общее благополучие.

Прогнозный анализ аварийных ситуаций и технического обслуживания  
[15]

Цифровые двойники могут быть интегрированы с датчиками мониторинга в реальном времени и платформами анализа данных для сбора и анализа операционных данных из больничных учреждений. Это позволяет проектировщикам и менеджерам учреждений получать представление о моделях использования, уровне занятости и использовании ресурсов, что дает им возможность принимать решения на основе данных для оптимизации производительности учреждения и улучшения качества обслуживания пациентов. Кроме того, цифровые двойники могут улучшить прогнозирование и реагирование на чрезвычайные ситуации в больницах. Проектировщики могут моделировать различные сценарии чрезвычайных ситуаций, такие как стихийные бедствия или происшествия с массовыми жертвами, используя цифровые двойники для оценки устойчивости конструкций, маршрутов эвакуации и протоколов реагирования. Это позволяет больничным организациям лучше готовиться и снижать риски во время чрезвычайных ситуаций, что в конечном итоге повышает безопасность пациентов и улучшает результаты. Для прогнозного обслуживания и управления активами цифровые двойники могут отслеживать состояние больничной инфраструктуры, оборудования и систем в режиме реального времени, обеспечивая профилактическое обслуживание и упреждающее управление активами. Разрабатывая специализированное программное обеспечение для анализа данных, собранных датчиками, встроенными в цифровые двойники, менеджеры объектов могут прогнозировать потребности в техническом обслуживании, оптимизировать производительность оборудования и продлевать жизненный цикл активов, тем самым сокращая время простоя и эксплуатационные расходы.

Постоянное совершенствование и интеграция с новыми технологиями  
[16]

Цифровые двойники могут служить динамичными и развивающимися платформами, способствующими постоянному совершенствованию и обновлению проектов больниц с течением времени. Проектировщики могут собирать отзывы пользователей, отслеживать показатели производительности и включать реальный опыт в цифровые двойники, обеспечивая непрерывную оптимизацию и инновации в больничной среде. Цифровые двойники могут сочетаться с новыми технологиями, такими как дополненная реальность (AR), виртуальная реальность (VR) и искусственный интеллект (ИИ), чтобы расширить возможности и функциональность больничных проектов. Дизайнеры могут создавать захватывающие возможности AR/VR, чтобы заинтересованные стороны могли просматривать цифровые двойники и

взаимодействовать с ними в режиме реального времени, а алгоритмы искусственного интеллекта способны анализировать данные цифровых двойников, чтобы предоставлять ценную информацию и рекомендации по оптимизации дизайна. Новейший план кампуса клиники Мэйо в центре Рочестера, США, включает в себя «районы», спроектированные Arch, чтобы пациенты могли получить доступ к непрерывному лечению (рис. 4).



Рис. 4. Новейший план кампуса клиники Мэйо в центре Рочестера, США  
(Источник: авторы Норман Фостер и «Cannon Design»)

### 3. Заключение

Проектирование инновационных больниц включает в себя три ключевых требования:

1 Подход к проектированию, ориентированный на пользователя (врачей, больничного персонал, пациентов и т.д.), направленный на изучение антропоцентрических интерфейсов в среде «человек-машина-больница», с использованием прикладных методов эргономики для работы в соответствии с руководящими принципами, направленными на достижение эффективной и приносящей удовлетворение работы.

2 Использование дизайнерами самых передовых технологий, таких как искусственный интеллект, виртуальная реальность, цифровые двойники и т.д., для оптимизации всего процесса проектирования и минимизации ошибок.

3 Осуществление долгосрочного планирования с перспективой как минимум на ближайшие двадцать лет.

### Список литературы

1. Grossi F. C., Artificial Intelligence and Digital Twins in Medicine, in Journal of the Interdepartmental Center for Educational Research of the University of Trieste, n. 27/2023 - ISSN: 2039-8646, Publisher EUT University of Trieste, Italy, pages 9-38, DOI: 10.13137/2039-8646/35607.
2. Habboush Y, Yarrarapu SNS, Guzman N. Infection Control. [Updated 2023 Sep 4]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519017/>
3. Pan American Health Organization Hospital Safety Index: Guide for Evaluators Washington, D.C., PAHO, 2008 - ISBN 978 92 75 13256 2
4. Grossi F. C., Medical Ergonomics, in Journal of the Interdepartmental Center for Educational Research of the University of Trieste, n. 26/2023 - ISSN: 2039-8646, Publisher EUT University of Trieste, Italy, pages 33-56, DOI 10.13137/2039-8646/35448
5. Grossi F. C., Introducción a la Ergonomía Aplicada al Diseño Industrial - Introduction to Ergonomics applied to Industrial Design, published by A3manos 2022, July-December n. 18, ISSN 2412-5105 / RPNS : 2370 / Licentia: CC BY NC SA4.0, Universidad de la Habana, Instituto Superior de Diseño (ISDi).
6. Alkaisi OF, Ibrahim SAH, Khaleefa HG (2021). The role of the physical components design for healing gardens in promoting psychological health. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. 910:012102 (<https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012102>).
7. DiGioia A. M., Shapiro E., The Patient Centered Value System: Transforming Healthcare through Co-Design, Productivity Press; 1st edition (September 6, 2017) New York, ISBN: 978-1138055964
8. Virendra K. Paul, Abhijit R., Sumedha D., Chaitali B., Healthcare Infrastructure, Resilience and Climate Change, Published July 20, 2023 by Routledge, New York, ISBN 9781032488912.
9. Svensson Harari, N., Fundin, A. An early-phase design process to enable long-term flexibility in assembly systems. Res Eng Design 34, 257–283, 2023, <https://doi.org/10.1007/s00163-022-00404-0>
10. Battisto D, Wilhelm J. J., Architecture and health: guiding principles for practice, Taylor & Francis New York, 2019, ISBN9780429021169, <https://doi.org/10.4324/9780429021169>.
11. Grossi F. C., Living in social participation, an ergonomics project applied to sustainable architecture, Generis Publishing, Chişinău, Moldova, 2023, ISBN: 979-8-88676-523-
12. Roppelt J. S., Kanbach D. K., Kraus S., Artificial intelligence in healthcare institutions: A systematic literature review on influencing factors, Technology in Society, Volume 76, 2024, 102443, ISSN 0160-791X, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102443>.
13. Wright A., Artificial Intelligence in Building Information Modeling (BIM), 2024 ArchiExpo e-Magazine, Marseille, France, (<https://emag.archiexpo.com/artificial-intelligence-in-building-information-modeling-bim/>)

14. Varan Nath S., van Schalkwyk P., Building Industrial Digital Twins, Packt, Birmingham, U.K., 2021, ISBN: 9781839219078

15. Sobowale M., Elghaish F., Brooks T., A Systematic Review of Digital Twin as a Predictive Maintenance Approach for Existing Buildings in the UK, 2023, presented at the 23rd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2023) “Managing the Digital Transformation of Construction Industry”, ISBN: 979-12-215-0289-3, DOI:10.36253/979-12-215-0289-3.119, pages 1206-1218.

16. Junaid S.B., Imam A.A., Balogun A.O., De Silva L.C., Surakat Y.A., Kumar G., Abdulkarim M., Shuaibu A.N., Garba A., Sahalu Y., Mohammed A., Mohammed T.Y., Abdulkadir B.A., Abba A.A., Kakumi N.A.I., Mahamad S., Recent Advancements in Emerging Technologies for Healthcare Management Systems: A Survey, Healthcare (Basel, CH). 2022 Oct 3;10(10):1940. DOI: 10.3390/healthcare10101940. PMID: 36292387; PMCID: PMC9601636.102.