

# Исследование материалов и конструкции при проектировании корпуса аппарата реабилитации легких для больных COVID-19

Е.В. Вехтер<sup>1</sup>, Н.С. Жамантаев<sup>1</sup>, В.В. Черткова<sup>1</sup>, А.В. Шкляр<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, пр. Ленина, 30, Томск, 634050, Россия

## Аннотация

Основной целью данной статьи является исследование путей решения проблем дизайн-проектирования корпуса для системы реабилитации легких с учетом специфики проведения медицинской процедуры, учета антропометрических характеристик и расчета эргономических факторов. А также в процессе работы было изучено влияние на выбор материала и конструкции таких факторов как жизнеспособность вируса на разных материалах и возможность его эффективной дезинфекции и утилизации. Научная новизна работы заключается в изучении вирулентности короновиральной инфекции на различных материалах и конструкций используемых для проектирования аппарата реабилитации легких. В результате были выполнены 3D модели и проведены расчеты, на основе выдвинутых в процессе работы критериев, три различных варианта корпуса медицинского оборудования по реабилитации.

## Ключевые слова

Дизайн-проектирование, корпус медицинского оборудования, исследование материалов, конструкция, моделирование.

# Research of Materials and Constructions for Designing the Shell of Pulmonary Rehabilitation Apparatus for Patients with COVID-19

E.V. Vechter<sup>1</sup>, N.S. Zhamantaev<sup>1</sup>, V.V. Chertkova<sup>1</sup>, A.V. Shklyar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Lenin av., 30, 634050, Russia

## Abstract

The main aim of this article is to determine ways of solving problems of designing the shell of the pulmonary rehabilitation system taking into account specifics of medical procedure, anthropometric characteristics and calculation of ergonomic factors. It is also important for choosing materials and designing to consider influence of such factors as viability of the virus on different materials and possibility of its effective disinfection and utilization. Scientific novelty of this work consists in studying virulence of coronavirus infection on different materials and constructions for designing the pulmonary rehabilitation apparatus. As a result, 3D models were made and calculated, based on the criteria put forward, three different versions of the medical equipment housing for rehabilitation.

## Keywords

Design-design, medical equipment housing, materials research, construction, modeling.

## 1. Введение

Проектирование и производство нового высокотехнологичного медицинского оборудования во всем мире развивается быстрыми темпами. Появление в декабре 2019 г. в Китае нового острого инфекционного заболевания Coronavirus disease 2019 (COVID-19), который за короткий

*ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия*

EMAIL: vechter@tpu.ru (Е.В. Вехтер); NSZ8@tpu.ru (Н.С. Жамантаев); vvc23@tpu.ru (В.В. Черткова); shklyarav@tpu.ru (А.В. Шкляр)

ORCID: 0000-0003-0604-0399 (Е.В. Вехтер); 0000-0003-4442-7420 (А.В. Шкляр)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.  
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

период времени перерос во всемирную пандемию, послужило толчком к исследованию и проектированию оборудования для лечения и реабилитации больных этим заболеванием.

Для борьбы с COVID-19 в НИИ фармакологии и регенеративной медицины г. Томска была разработана система процедур, которая помогает в реабилитации дыхательных путей пациентам с большим процентом поражения легких. Данная процедура основана на самостоятельном вдыхании смеси газов через маску с использованием специального оборудования, конструкция и оболочка которого находится в стадии разработки [1,2].

Тема исследования основана на гипотезе о том, что проектирование корпуса для аппарата искусственной реабилитации легких поможет сократить число сотрудников и трудозатраты при проведении процедуры и облегчит его транспортировку до больного, а также сделает процедуру эффективнее за счет оптимизации конструкции с точки зрения антропометрии человека и конструктивных особенностей. Использование в процессе проработки идеи и проектирования программных продуктов по 3D моделированию позволяет сократить сроки поиска итогового решения и выявить наиболее выгодную для решения поставленной задачи идею, повысить наглядность и выполнить анализ конструкции.

Основной целью данной статьи является исследование путей решения проблем дизайн-проектирования корпуса для системы реабилитации легких с учетом специфики проведения медицинской процедуры, учета антропометрических характеристик и расчета эргономических факторов. А также влияния на выбор материала и конструкции таких факторов как жизнеспособность вируса на разных материалах и возможность его эффективной дезинфекции и утилизации.

## **2. Проектирование и анализ вариантов корпуса**

### **2.1. Специфика заболевания и проведения процедуры**

Коронавирусная инфекция – острое вирусное заболевание с преимущественным поражением верхних дыхательных путей, вызываемое РНК-геномным вирусом рода Betacoronavirus семейства Coronaviridae [3]. Механизм передачи – аспирационный. Пути передачи: воздушно-капельный, контактно-бытовой путь реализуется через факторы передачи: воду, пищевые продукты и предметы [4]. У большинства пациентов с тяжелым течением COVID-19 на первой неделе заболевания развивается пневмония. В борьбе с осложнениями данного заболевания была разработана система ингаляции легких на основе смеси газов.

Основная технология процедуры заключается в том, что баллон с газом заполняет мешок, из которого происходит поступление содержимого в легкие пациента через специальный фильтр, затем мешок самостоятельно расправляется за счет выдыхания воздуха через специальный клапан. Во время процедуры пациент просто вдыхает поступающий газ. Медицинский персонал при проведении процедуры необходим для удержания и фиксации маски, контроля процесса поступления газа, открывать и закрывать вентиль на баллоне с газом.

### **2.2. Особенности выбора материалов**

Одна из основных задач, которая возникает в процессе проектирования медицинского оборудования — это подбор материала, что вызвано спецификой применения данного оборудования и санитарными условиями утилизации. На данный момент проведено несколько исследований, в одном из которых эксперты из Национального института аллергии и инфекционных заболеваний США установили, что на меди COVID-19 задерживается на четыре часа, на картоне – на сутки, а на пластмассе и нержавеющей стали может просуществовать трое суток [5].

Исследователи Гонконгского университета получили следующие данные: они установили, что на стеклянной поверхности и банкнотах вирус полностью исчез только на четвертые сутки, а на нержавеющей стали и пластике держался от четырех до семи дней. Зато на печатной и папиросной бумаге он продержался менее трех часов, а на обработанной древесине и ткани исчез

на второй день [6]. Проведенные Министерством здравоохранения российские исследования получили схожие данные [7].

Анализ данных вирулентности коронавируса на различных видах поверхностей послужил отправной точкой для дальнейшего исследования. Проведенное исследование особенностей проведения медицинской процедуры, антропометрических характеристик, жизнеспособности вируса на различных материалах и санитарно-эпидемиологических требований к медицинским отходам позволили сформулировать ряд критериев для дальнейшего проектирования.

### 2.3. Систематизация декомпозиции связей

Основными критериями для разработки конструкции проектируемого медицинского оборудования были выдвинуты:

- эффективность процедуры;
- сокращение медперсонала при проведении процедуры;
- эффективность дезинфекции и утилизации;
- экономичность.

На основе сформулированных критериев построена декомпозиция связей, позволяющая наглядно показать все элементы влияющие на результат проектирования. В качестве структурных элементов декомпозиции связей были выделены следующие позиции, представленные на рисунке 1.



Рисунок 1 – Декомпозиция связей

*Уникальные детали.* В состав разработки входят уникальные запатентованные элементы, имеющие свой ряд технических решений и учета антропометрических характеристик пациента при проведении медицинских процедур, которые необходимо было учесть при проектировании.

*Стандартные элементы.* В общей системе присутствуют стандартизированные элементы конструкции, которые являются необходимой базовой комплектацией, без которых невозможно проведение процедуры. В качестве стандартных элементов используются: кислородные маски, трубки и переходники к ним, фильтры, баллон со смесью газов, дыхательный мешок.

*Тип конструкции.* В ходе исследования рассматривались абсолютно разные варианты по типу и месту крепления, особенностям конструкции, формообразованию. Были выделены преимущества каждого варианта и рассмотрены взаимосвязи с остальными структурными элементами. На основе чего был выбран дальнейший путь развития и предлагаемые концепты.

*Эргономические проблемы проведения процедуры.* Особенности эргономики и логистики передвижения при проведении процедуры, взаимосвязи пациент-медперсонал в общем сценарии проведения процедуры от сборки до утилизации повлиял на формообразование так, как были рассмотрены различные варианты для переноса и крепления корпуса.

*Эффективность процедуры.* Данный элемент диаграммы зависит от антропометрических характеристик человека и необходим для того, чтобы сократить расстояние от дыхательных путей человека до баллона с газом. Он был вынесен из эргономических проблем так как являлся главным требованием к данному виду конструкции.

*Материалы.* Важным элементом структуры проектирования является выбор правильного биосовместимого материала. Структурный элемент был разделен на подразделы, в соответствии

с возможностью одноразового и многоразового использования, что повлияло на тип материала от металла до биосовместимых пластиков и картона [6].

Каждый элемент имеет дополнительные подструктуры, влияющие на формообразование итогового корпуса в зависимости от выбранных путей развития [8]. Для систематизации критериев проектирования была построена декомпозиция связей, в которой выстроились взаимосвязи между всеми структурными элементами, способствующие комплексному подходу к проектированию, что продемонстрировано на рисунке 1.

### 2.3. Моделирование концептов

На основе систематизированных данных были приняты проектные решения по разработке концептов корпуса медицинского оборудования по реабилитации. Было предложено три различных варианта корпуса с рассчитанными, на основе выдвинутых критериев, параметрами. Для наглядной демонстрации и анализа предлагаемых концептов представлены 3D модели трех вариантов конструкции, позволяющие осуществить итоговый выбор конструкции на основании: сценария дезинфекции, который влияет на выбор материала, способа утилизации и финансирования, в соответствии с финансовыми возможностями медицинской организации [6]. Все варианты объединяет общая идеология конструкции, в основе которой лежит ручка для переноса и выдвижная полка-подставка, не позволяющая загибаться мешку с газом [9].

*Первый концепт.* В качестве первого концепта предлагается конструкция для многоразового использования из фанеры (рисунок 2). Разработанный корпус конструкции можно обрабатывать спиртовыми растворами и антисептиками, а также при условии покрытия маслом с УФ-фильтром можно обрабатывать при помощи ультрафиолетовых ламп. Данный вариант является экономичным, связано это с низкой стоимости материала.

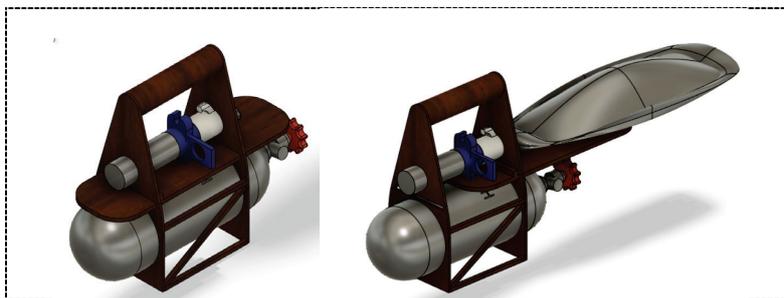


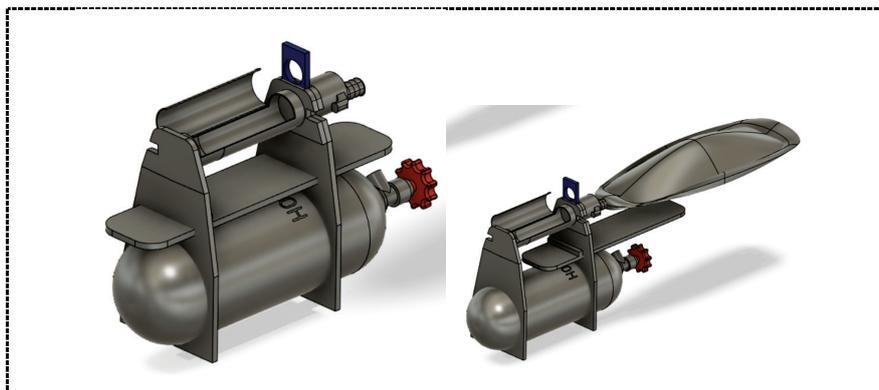
Рисунок 2 – Многоразовый вариант корпуса из фанеры

*Второй концепт.* В качестве второго концепта предлагается конструкция для многоразового использования из пластика (рисунок 3). В данном варианте корпус с трубками внутри соединен с ручкой корпуса, он открывается как футляр, что позволяет легко заменить внутренние одноразовые элементы. Обрабатывать данную конструкцию необходимо спиртовыми растворами, при использовании обработки под УФ лампой необходимо использовать стойкие пластики к данному излучению так, как под влиянием лучей теряются не только эстетические характеристики пластика, но также прочностные свойства и нарушается целостность микроструктуры в целом. Данный вариант требует использования более дорогостоящих материалов и технологий производства.

*Третий концепт.* Конструкция для одноразового использования из картона является самым экономичным вариантом и используется для одного цикла процедур (рисунок 4). Так как было выявлено, что на картоне инфекция держится небольшой промежуток времени (до 24 часов) [6], по истечению данного срока можно отправлять картон на переработку.

Анализ на прочность, проведенный для трех 3D моделей в программах для компьютерной графики, позволяет сделать вывод о том, что все из них выдержат вес комплектующих и баллона с газом без нарушения функциональности и удобства при эксплуатации. Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что предлагаемый третий вариант оказался наиболее выгодным, так как время, затрачиваемое на создание данного варианта значительно меньше по

сравнению с моделями из дерева или пластика. Картон имеет меньшую стоимость по сравнению с материалами предыдущих концептов и не нуждается в дезинфекции.



**Рисунок 3** – Многоцветный вариант корпуса из пластика



**Рисунок 4** – Одноразовый вариант корпуса из картона

На основе проведенного исследования специфики и особенностей проведения медицинской процедуры реабилитации легких, учета антропометрических характеристик, выбор материала, основанный на специфике применения оборудования, способом дезинфекции от вируса и санитарными условиями утилизации, факторы надежности и экономическими факторами выбран для производства третий вариант дизайна корпуса.

Предлагаемое проектное решение позволяет решить следующие эргономические проблемы:

- данный корпус позволяет сократить трудовые ресурсы до одного медицинского работника при проведении процедуры;
- в корпусе собраны все элементы, что упрощает перемещение конструкции до пациента для проведения медицинской процедуры;
- выбран материал, на котором инфекция держится небольшой промежуток времени, до 24 часов;
- доступный способ утилизации использованного оборудования;
- возможность выбора материала корпуса в зависимости от предполагаемого финансового обеспечения и способа санитарной обработки.

### 3. Заключение

В процессе исследования были проанализированы материалы и конструкции корпуса, выполнены 3D модели трех вариантов корпусов из разных материалов и проведен анализ на прочность, по результатам выявлен самый экономичный, экологичный и легко утилизируемый материал в виде картона, удовлетворяющий сформулированным критериям. Также были выявлены конструктивные особенности, которые влияют на повышение эффективности проведения процедуры. Благодаря системному подходу и анализу был разработан наиболее подходящий для решения поставленной задачи концепт корпуса. Использование в процессе проектирования программных продуктов по 3D моделированию и компьютерной графике, уже начиная с этапов проработки концептов и идей, позволяет сократить сроки поиска итогового решения и выявить наиболее выгодную для решения поставленной задачи идею. Помимо этого

визуальные 3D модели позволяют повысить эффективность коммуникации между участниками работы над проектом и заказчиком проекта. В дальнейшем планируется прототипирование данной разработки и проверка в соответствии с заданными параметрами прочности.

#### 4. Список источников

- [1] Механизмы эффектов кратковременных ингаляций Хе/О<sub>2</sub> газовой смеси в реабилитации постковидной вентиляционной недостаточности / Удут В.В., Наумов С.А., Удут Е.В., Наумов С.С., Евтушенко Д.Н., Чумакова О.Н., Зюзьков Г.Н. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2021. Том 172. №9. С.362-365.
- [2] Способ реабилитации поствирусных повреждений паренхимы легких и устройство для его осуществления // Патент России № 2752856, 11.08.2021 / Удут В.В., Наумов С.А. [и др.].
- [3] COVID-19: Респираторная инфекция, вызванная новым коронавирусом: новые данные об эпидемиологии, клиническом течении, ведении пациентов / Ю. Г. Белоцерковская, А. Г. Романовских, И. П. Смирнов // Consilium Medicum. 2020. № 3. С. 12-20.
- [4] Влияние коронавируса COVID-19 на ситуацию в Российском здравоохранении / В. И. Стародубов, Ф. Н. Кадыров, О. В. Обухова [и др.] // Менеджер здравоохранения. 2020. № 4. С. 58-71.
- [5] Дайджест новостей COVID-19 // Педиатрическая фармакология. 2020. № 2. С. 152-155.
- [6] Временные методические рекомендации: Исследование умерших с подозрением на коронавирусную инфекцию (COVID-19). Москва. 2020. Версия 15 (30.04.2020) – С. 85-89.
- [7] COVID-19 – новая глобальная угроза человечеству / Н. Ю. Пшеничная, Е. И. Веселова, Д. А. Семенова [и др.] // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2020. № 1. С. 6-13.
- [8] Кикин В.В. Общее формообразование: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед.ун-та, 2011. 98 с.
- [9] Жданов Н. В. Промышленный дизайн: бионика. Пособие. М.: Юрайт. 2018. 121 с.