

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ ПОМОЩИ. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС «УМНАЯ ПАЛАТА»

*К.О.Бодров<sup>1</sup>, А.Д.Зайнутдинов<sup>1</sup>, О.Г.Бодров<sup>1</sup>*

(Научный руководитель: *Р.А.Бодрова<sup>2</sup>*, д.м.н., доц.,  
зав. кафедрой реабилитологии и спортивной медицины)

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

<sup>2</sup>КГМА - филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России  
420012, Российская Федерация, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 36.

**Аннотация.** «Умная палата» – это аппаратно-программный комплекс, позволяющий пациенту с ограниченными возможностями выполнять базовые, бытовые действия, управляя приборами и устройствами при помощи движения глаз. Программно-аппаратный комплекс реализован на базе миникомпьютера. Перед пациентом устанавливается монитор и видеокамера, фиксирующая указания пациента, выполняемые при помощи движения зрачков глаз. С помощью специальной программы, считывающей движения зрачков глаз пациента, программный модуль «умной палаты» получает команду управления и приводит в действие те или иные механизмы. В оборудовании предусмотрен интерфейс управления освещенностью, шторами (открытие/закрытие) и пр.

**Ключевые слова:** умная палата, средства реабилитации, нейросетевые алгоритмы, визуальный интерфейс управления.

### Введение

В настоящее время в России более 3,35 миллионов человек обездвижены, не могут себя обслуживать и нуждаются в постоянном уходе. Большая часть из них (более 67%) находятся в медицинских учреждениях в послеоперационный период, или на стадии реабилитации, другие находятся в домашних условиях, но в силу их ограниченных возможностей им необходим патронажный уход.

Лежачие больные различаются по своим физическо-психологическим возможностям: начиная от полностью обездвиженных, которые могут управлять лишь своим взглядом, до частично ограниченных в физической активности. Например, он может самостоятельно сесть в кровати, повернуться на другой бок, поворачивать голову, работать руками и пальцами, но нижняя часть его тела обездвижена.

Для оценки степени активности пациентов применяют прогностическую шкалу оценки выживаемости (Palliative Performance Scale, PPS), таблица 1. Наиболее тяжелые пациенты соответствуют диапазону оценки шкалы PPS от 10 до 40%. Это те больные, которые не в состоянии самостоятельно удовлетворить свои самые элементарные физиологические потребности, такие как: переодеть нательное белье; провести гигиенические процедуры; сходить в туалет; включить/выключить свет; открыть/закрыть окно/форточку; закрыть шторой окно от солнечного света; вскипятить чайник; приготовить и принять пищу; позвонить или принять телефонный вызов. Этот перечень функциональных ограничений можно продолжать и дальше, но самым тяжелым для таких больных является психологический эффект

перехода от здорового состояния полной активности к полной беспомощности. Человек испытывает серьезные страдания от ощущения безысходности, что в значительной степени осложняет лечебный восстановительный процесс.

Классификация лежачих больных по видам заболеваний показывает, что больший процент обездвиженных больных составляют лица, перенесшие инсульт или перелом позвоночника. Статистика показывает, что из более чем одного миллиона человек, перенесших инсульты различной степени тяжести, 800 тысяч человек остались инвалидами, а после инсульта 30 % больных нуждаются в постоянном уходе, 20 % полностью прикованы к постели, и только 20 % возвращаются к нормальной жизни[1]. Такие ограничения для категории больных с очень тяжелым течением болезни, приносят большие страдания, способные нанести существенные психологические травмы, и могут привести к серьезной депрессии.

Таблица 1. Прогностическая шкала оценки выживаемости для оценки общей активности больных [2]

Оценка в %	Способность к передвижению	Виды активности и проявления болезни	Самообслуживание	Питание/питье	Уровень сознания
1	2	3	4	5	6
100	Полная	Практически здоров: жалоб нет; признаков заболевания нет	В полном объеме	Нормальное	Не нарушено
90	Полная	Сохранена нормальная ежедневная активность; незначительная степень выраженности проявлений заболевания	В полном объеме	Нормальное	Не нарушено
80	Полная	Нормальная ежедневная активность поддерживается с усилием; умеренная степень выраженности проявлений заболевания	В полном объеме	Нормальное или сокращенное	Не нарушено
70	Сокращенная	Способен себя обслужить; не способен поддерживать нормальную ежедневную активность или выполнять активную работу	В полном объеме	Нормальное или сокращенное	Не нарушено

1	2	3	4	5	6
60	Сокращенная	Большей частью способен себя обслужить, однако в отдельных случаях нуждается в уходе	Иногда требуется помощь	Нормальное или сокращенное	Не нарушено или спутанность
50	Главным образом сидит или лежит	Частично способен себя обслужить, частично нуждается в уходе, часто требуется медицинская помощь	Требуется значительная помощь	Нормальное или сокращенное	Не нарушено или спутанность
40	Преимущественно в постели	Не способен себя обслуживать, требуются специальный уход и медицинская помощь	Как правило, не обходится без помощи	Нормальное или сокращенное	Не нарушено, либо сонливость, либо спутанность
30	Полностью прикован к постели	Не способен себя обслуживать, показана госпитализация, хотя непосредственная угроза для жизни отсутствует	Тотальный уход	Сокращенное	Не нарушено, либо сонливость, либо спутанность
20	Полностью прикован к постели	Тяжелое заболевание: необходима госпитализация, необходима активная поддерживающая терапия	Тотальный уход	Мелкие глотки	Не нарушено, либо сонливость, либо спутанность
10	Полностью прикован к постели	Терминальный период: быстро прогрессирующий фатальный процесс	Тотальный уход	Только уход за полостью рта	Сонливость или кома
0	Смерть	Смерть	-	-	-

Максимально помочь людям, оказавшимся в такой ситуации возможно, если обеспечить им возможность доступа хотя бы к ограниченному функционалу самообслуживания. Перед группой разработчиков была поставлена цель создать комфортную среду полностью обездвиженным больным — разработать интерфейс управления вспомогательными средствами жизнеобеспечения, позволяющий осуществлять управление, не прибегая к механическим и голосовым интерфейсам, только за счет зрительного контакта.

### Умная палата как методы и средства функциональной помощи

Решению этих задач посвящена разработка «умной палаты», оснащенной технологией поддержки людей, у которых парализовано все тело. Она позволяет с помощью взгляда управлять функциональными возможностями палаты. В зарубежной и отечественной литературе иногда применяется термин «smart палата». Разработчики «умных палат» делают акцент на управление функционалом палаты с компьютера (планшета), пульта управления или голосом, таблица 2.

Нами, в отличие от других производителей палат, был сделан акцент на функциональное управление «умной палаты» за счет фокусировки взгляда на соответствующем поле монитора, расположенного рядом с кроватью пациента. Фокусировка взгляда считывается видеокамерой, а манипуляция взглядом позволяет активировать функциональные блоки и системы управления: включение/выключение света, телевизора, микроволновой печи; открытие/закрытие окон и штор; регулировка температуры в палате; вызов медицинской сестры и пр.

Таблица 2. Производители и поставщики «умных палат»

№ п/п	Производитель	Управление функционалом			
		Планшет	Пульт	Голос	Взгляд
1	ООО «Разумный дом» г. Тула[3]	+			
2	Клиника «Хадасса», Израиль[4]	+	+		
3	Интегро, Ростех, холдинг «Швабе»[5]	+	+	+	
4	Умная медицинская палата SmartCare Поставщик Медснаб-1 Москва [6]	+			
5	Умная Smart палата г. Казань [7]	+			+

В настоящий момент управление взглядом реализовано в «умной палате», функционирующей в Центре медицинской реабилитации на базе городской клинической больницы № 7, г. Казань, Российская Федерация [7].

Программно-аппаратный комплекс «Умная палата» является совокупностью устройств и программного обеспечения, включающей в себя компьютер; видеокамеру, подключенную к компьютеру через USB интерфейс; плату управления (Arduinouno), которая соединена с компьютером через USB интерфейс. Кроме того, в состав комплекса входят датчики света, шторы и другие устройства быта, подключенные через интерфейс к плате управления. Все эти устройства и компоненты работают в единой системе, с помощью специально разработанного программного обеспечения (написано на языке C#), которое представляет собой интерфейс управления и модуля управления.

Пользовательский интерфейс программного обеспечения — это ключевой элемент «умной палаты», который обеспечивает комфортное и интуитивно понятное взаимодействие между пациентом и аппаратно-программным комплексом, рисунок 1. Он представляет собой отдельный оконный интерфейс, в котором с помощью ярких и понятных иконок

представлены имеющиеся опции управления, а именно: включение и выключение освещения, открытие и закрытие окон и штор, вызов медицинского персонала. Более того, для активации с помощью фокусировки взгляда на соответствующем поле монитора доступны не только функции управления. Чтобы совершить какое-либо действие, пользователю необходимо зафиксировать взгляд на нужной ему кнопке. В этот момент вокруг нее начнет заполняться индикатор подтверждения действия, когда он заполнится до конца, действие будет выполнено. Такая система подтверждения действия исключает ложные срабатывания.

Пользователь также может настроить внешний вид окна управления в соответствии со своими индивидуальными потребностями и предпочтениями. Например, он может выбрать яркость и цветовую гамму для удобства восприятия или изменить размер иконок для более удобного использования. Кроме того, пользовательский интерфейс является не только способом управления умной палатой, но и важной частью коммуникации между пациентом и медицинским персоналом. Он позволяет пациенту чувствовать себя более уверенно, контролируя доступные ему аспекты жизнедеятельности в условиях ограничения физических возможностей, что существенно повышает его удобство и комфорт в процессе лечения.

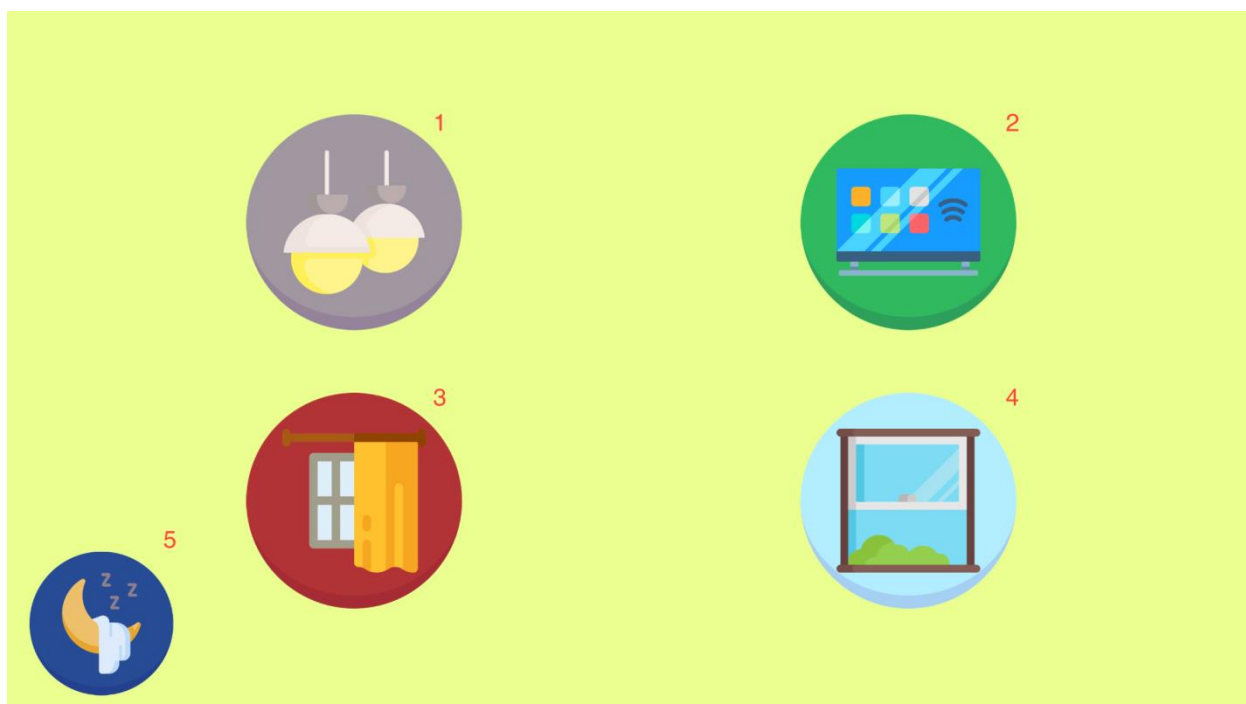


Рис. 1. Пользовательский интерфейс программного обеспечения.

Цифрами отмечены области фиксации взгляда: 1 — управление освещением, 2 — управление бытовыми приборами, 3 — управление шторами, 4 — управление окнами, 5 — активация ночного режима

Алгоритм работы модуля управления программным обеспечением реализован на базе нейронной сети. Видеопоток с непрерывно направленной на лицо человека видекамеры передается в нейронную сеть, которая распознает лицо человека и выделяет на нем область, содержащую глаз человека.

Архитектура нейронной сети состоит из следующих слоев:

- входной слой (Inputlayer) — размер входных данных определяется размером изображения, например, для изображений размером 224 x 224 пикселя, размер входного слоя будет равен 224 x 224 x 3;

- слой свертки (Convolutionallayer) — размер ядра 3x3, глубина 32, функция активации ReLU;
- слой свертки (Convolutionallayer) — размер ядра 3x3, глубина 64, функция активации ReLU;
- слой прореживания (Maxpoolinglayer) — размер ядра 2x2;
- слой свертки (Convolutionallayer) — размер ядра 3x3, глубина 128, функция активации ReLU;
- слой прореживания (Maxpoolinglayer) — размер ядра 2x2;
- слой Dropout, с вероятностью отключения нейронов равной 0.5;
- полносвязный слой (Fullyconnectedlayer) — количество нейронов 512, функция активации ReLU;
- слой Dropout, с вероятностью отключения нейронов равной 0.5;
- выходной слой (Outputlayer) — количество нейронов равно количеству классов, функция активации softmax. Выходные классы представлены 8 числами (координаты левого верхнего угла рамки, содержащей левый глаз, ее ширину и высоту, и координаты левого верхнего угла рамки, содержащей правый глаз, ее ширину и высоту).

Для обучения нейронной сети был разработан специальный алгоритм, который генерировал данные на основе определенных параметров, используя готовые заготовки лиц людей. Сначала были определены параметры, такие как положение глаз, бровей, носа и рта, а затем были сгенерированы лица, соответствующие этим параметрам.

Обучающая выборка содержала 10 000 изображений, а тестовая выборка — 2 000 изображений. Для обучения нейронной сети использовались 50 эпох и цикл обучения, который состоял из 10 000 шагов. Каждый шаг включал в себя обновление весов нейронной сети на основе метода градиентного спуска.

Для обнаружения зрачка с помощью фильтров на изображение глаза накладываются различные фильтры, такие как фильтр границ Canny[8] и фильтр Хаара[9,10].

Фильтр границ Canny — это один из наиболее распространенных алгоритмов обработки изображений, используемых для обнаружения контуров изображений. Он основывается на выделении границ объектов на изображении, используя производные первого и второго порядков. Алгоритм Canny состоит из нескольких этапов обработки изображения, включая размытие, вычисление градиентов, подавление не-максимумов, двойной пороговый анализ и подавление ложных границ.

Фильтр Хаара — это метод, используемый для обнаружения объектов на изображении, основанный на выделении признаков (фрагментов изображения) с помощью вейвлет-преобразования. Эти признаки используются для поиска объектов на изображении с помощью классификатора.

После применения фильтров границ Canny и Хаара производится расчет центра зрачка и его радиуса. Для этого используются различные алгоритмы, такие как алгоритм Хафа[11] или метод наименьших квадратов. Алгоритм Хафа[11] позволяет обнаружить круг на изображении, который и представляет из себя зрачок. Для увеличения точности и надежности обнаружения зрачка используется метод адаптивной бинаризации. Этот метод позволяет выделить зрачок на фоне различной яркости и контрастности, что увеличивает эффективность обнаружения.

Для получения точной информации о точке взгляда пациента на экране, перед началом использования необходимо пройти калибровку. В процессе запуска программа предлагает провести калибровку положения головы и глаз пациента относительно экрана. На экране появляются точки, в которых пациенту необходимо зафиксировать взгляд. Так сна-

чала пациенту предлагается зафиксировать взгляд на центре экрана и удерживать его в течение 10 секунд. Аналогичная процедура проводится для крайних угловых точек экрана и в 10 точках, которые случайно выбираются программой.

После калибровки программа устанавливает пропорциональную зависимость между центром экрана и текущим положением взгляда, чтобы определить точное местоположение взгляда на экране. Эта зависимость определяется путем расчета коэффициента масштабирования, который отражает отношение между пикселями экрана и углом визуального поля, занимаемым каждым пикселем.

Пример расчета коэффициента масштабирования: предположим, что угол визуального поля человеческого глаза составляет 120 градусов. Если монитор имеет разрешение 1920x1080 пикселей, то угол визуального поля, занимаемый каждым пикселем, можно считать следующим образом:

- горизонтальный угол визуального поля =  $120 \text{ градусов} / 1920 \text{ пикселей} = 0.0625$  градуса на пиксель;

- вертикальный угол визуального поля =  $120 \text{ градусов} / 1080 \text{ пикселей} = 0.1111$  градуса на пиксель.

Коэффициенты масштабирования используются для определения фактического угла визуального поля, занимаемого каждым пикселем, на основе текущего положения взгляда на экране. Это позволяет точно определять координаты взгляда на экране, что может быть использовано для управления курсором мыши или другими элементами интерфейса пользователя.

Предположим, что коэффициент масштабирования составляет 10 пикселей на градус, а текущее положение взгляда находится на расстоянии 5 градусов по горизонтали и 3 градуса по вертикали от центра экрана. Тогда координаты взгляда на экране можно рассчитать следующим образом:

- горизонтальная координата взгляда =  $(5 \text{ градусов} * 10 \text{ пикселей на градус}) + (\text{ширина экрана} / 2)$ ;

- вертикальная координата взгляда =  $(3 \text{ градуса} * 10 \text{ пикселей на градус}) + (\text{высота экрана} / 2)$ ;

Если ширина экрана составляет 1920 пикселей, а высота экрана — 1080 пикселей, то координаты взгляда будут следующими:

- горизонтальная координата взгляда =  $(5 \text{ градусов} * 10 \text{ пикселей на градус}) + (1920 \text{ пикселей} / 2) = 1970 \text{ пикселей}$ ;

- вертикальная координата взгляда =  $(3 \text{ градуса} * 10 \text{ пикселей на градус}) + (1080 \text{ пикселей} / 2) = 1110 \text{ пикселей}$ .

Таким образом, координаты взгляда на экране будут (1970, 1110). Фактически, мы можем определить, насколько далеко пользователь может посмотреть, а также, каким образом его текущий взгляд связан с этими параметрами. В результате калибровки также устанавливается доля задействованного пространства монитора. То есть, мы получаем возможность установить пропорциональную зависимость между центром экрана, его крайним положением и реальным положением взгляда. Зная вектор направления взгляда, который рассчитывается на основе изображения глаза и текущего положения зрачка на нем, мы можем найти точку на экране, в которую смотрит пациент.

### Минусы данной системы

Ограничения для пользователей, которые не могут длительное время фиксировать взгляд на одной точке.

Возможные проблемы с точностью обнаружения зрачка в ночное время в условиях плохого освещения. Камера монитора не сможет считывать взгляд пациента и перевести компьютер из спящего состояния в активное.

### Решения

Создание альтернативных методов взаимодействия с системой, которые не требуют длительного фиксирования взгляда на одной точке. Например, управление голосом.

Установка дополнительного оборудования для улучшения качества изображения глаза и увеличения точности обнаружения зрачка, например, использование инфракрасных камер.

### Заключение

В перспективе – разрабатываются опции — доставка до туалета, установка места питания, регулировка угла наклона спинки кровати, все это может делать парализованный пациент сам с помощью новой современной технологии «Умная палата».

Это уникальная разработка, не имеющая пока аналогов ни в России, ни за рубежом, поскольку существующие на сегодняшний день подобные системы рассчитаны на пациентов с подвижностью верхних конечностей.

### Список использованных источников

1. Мачинский П.А. Сравнительная характеристика показателей смертности и летальности от ишемического и геморрагического инсультов в России/ П.А. Мачинский, Н.А. Плотникова, В.Е. Ульяновкин и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. - Россия, Пенза: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет», 2019. № 3 (51). Р. 101–118.
2. Приказ Министерства здравоохранения РФ и Министерства труда и социальной защиты РФ от 31 мая 2019 г. № 345н/372н "Об утверждении Положения об организации оказания паллиативной медицинской помощи, включая порядок взаимодействия медицинских организаций, организаций социального обслуживания и общественных объединений, иных некоммерческих организаций, осуществляющих свою деятельность в сфере охраны здоровья". - URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72180964/> (дата обращения: 11.07.2023). - Текст электронный.
3. Умные палаты в клинике Медицина. URL: <https://razumdom.ru/services/umnye-palaty-v-klinike-medsina/> (дата обращения: 11.07.2023).
4. Терапевтический корпус «Хадасса»: индивидуальное лечение и «умные» палаты // stroi.mos.ru. 2020. URL: [https://stroj.mos.ru/photo\\_lines/tierapievtichieskii-korpus-khadassa-individual-noie-liechieniie-i-umnye-palaty](https://stroj.mos.ru/photo_lines/tierapievtichieskii-korpus-khadassa-individual-noie-liechieniie-i-umnye-palaty) (дата обращения: 11.07.2023).
5. Перспективные разработки [Electronic resource]. URL: <https://rostec.ru/innovations/projects/integro-medsinskaya-palata-budushchego/> (дата обращения: 11.07.2023).
6. Умные палаты. URL: <https://medsnab-1.ru/smartcare/> (дата обращения: 11.07.2023).
7. Виртуальная реальность и умные палаты: в Татарстане открыли первый центр реабилитации. URL: <https://www.tatar-inform.ru/news/virtualnaya-realnost-i-umnye-palaty-v-tatarstane-otkryli-pervyi-centr-reabilitacii-5851981> (дата обращения: 11.07.2023).
8. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Nov. 1986, - Vol.PAMI-8, N6. - 679-698 pp. DOI: 10.1109/TPAMI.1986.4767851.



9. Lee Y.-B. Boundary detection in carotid ultrasound images using dynamic programming and a directional Haar-like filter / Y.-B.Lee, Y.-J.Choi, M.-H.Kim // Computers in Biology and Medicine. - 2010. - Vol. 40, № 8. - P. 687–697.
10. Wang L. Lip Detection and Tracking Using Variance Based Haar-Like Features and Kalman filter /L.Wang, X.Wang, J.Xu// 2010 Fifth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology. - 2010. - P.608–612.
11. Min-Allah N. Pupil detection schemes in human eye: a review /N.Min-Allah, F.Jan, S.Al-rashed// Multimedia Systems. - 2021. - Vol. 27, № 4. - P. 753–777.

## **METHODS AND MEANS OF REHABILITATION ASSISTANCE. SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX "SMART ROOM"**

*K.O. Bodrov<sup>1</sup>, A.D. Zainutdinov<sup>1</sup>, O.G. Bodrov<sup>1</sup>*

(Supervisor: R.A. Bodrova<sup>2</sup>, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor,  
Head of the Department of Rehabilitology and Sports Medicine)

<sup>1</sup>Kazan (Volga Region) Federal University  
420008, Russian Federation, Kazan, st. Kremlin, 18

<sup>2</sup>KSMA – Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia  
36, Russian Federation, 420012, Kazan, st. Butlerov

**Annotation.** "Smart ward" is a hardware and software complex that allows a patient with disabilities to perform basic, everyday activities, controlling instruments and devices with the help of eye movement. The software and hardware complex is implemented on the basis of a minicomputer; a monitor and a video camera are installed in front of the patient, which records the patient's instructions performed using the movement of the pupils of the eyes. With the help of a special program that reads the movements of the pupils of the patient's eyes, the "smart board" software module receives a control command and activates certain mechanisms. The equipment provides an interface for controlling lighting, curtains (opening / closing), etc.

**Key words:** smart ward, rehabilitation methods and tools, neural network algorithms, visual control interface.

Статья представлена в редакцию 10.07.2023г.