

УДК 004.94  
doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГООСЕВОЙ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ИМИТАЦИЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

А. Д. Иванов<sup>1</sup>, А. Ю. Тычков<sup>2</sup>, Д. С. Чернышов<sup>3</sup>,  
С. Ю. Тверская<sup>4</sup>, Р. В. Золотарев<sup>5</sup>, М. С. Яковлев<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>5,6</sup> Центр экспозиционной медицины, Пенза, Россия

<sup>1</sup> Sailtothe54@gmail.com, <sup>2</sup> tychkov-a@mail.ru, <sup>3</sup> deniska\_1980\_13@mail.ru,  
<sup>4</sup> tverskaya\_sofya@mail.ru, <sup>5</sup> leshiy021178@gmail.com, <sup>6</sup> Iakovlev398@gmail.com

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Целью работы является создание прототипа программного обеспечения для аппаратного управления новой многоосевой платформой для виртуальной реальности с имитацией воздействия внешней среды и обратной связью, обеспечивающей полное погружение пользователя в виртуальную реальность посредством воздействия на сенсорные биологические сигнальные системы (тактильную, вестибулярную, слуховую, зрительную). *Материалы и методы.* В рамках реализации настоящего проекта создан программный продукт для управления многоосевой платформой для виртуальной реальности, обеспечивающий полное погружение пользователя. *Результаты.* Результатом реализации проекта является рабочий прототип системы.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, симулятор движения, реабилитация

**Для цитирования:** Иванов А. Д., Тычков А. Ю., Чернышов Д. С., Тверская С. Ю., Золотарев Р. В., Яковлев М. С. Интеллектуальная система программного управления многоосевой платформой для виртуальной реальности с имитацией воздействия внешней среды и обратной связью // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 97–103. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12

## INTELLIGENT SOFTWARE CONTROL SYSTEM FOR A MULTI-AXIS VIRTUAL REALITY PLATFORM WITH SIMULATED ENVIRONMENTAL IMPACT AND FEEDBACK

A.D. Ivanov<sup>1</sup>, A.Yu. Tychkov<sup>2</sup>, D.S. Chernyshov<sup>3</sup>,  
S.Yu. Tverskaya<sup>4</sup>, R.V. Zolotarev<sup>5</sup>, M.S. Yakovlev<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>5,6</sup> Center for Exposure Medicine, Penza, Russia

<sup>1</sup> Sailtothe54@gmail.com, <sup>2</sup> tychkov-a@mail.ru, <sup>3</sup> deniska\_1980\_13@mail.ru,  
<sup>4</sup> tverskaya\_sofya@mail.ru, <sup>5</sup> leshiy021178@gmail.com, <sup>6</sup> Iakovlev398@gmail.com

**Abstract.** *Background.* The aim of the work is to create a prototype of software for hardware control of a new multi-axis platform for virtual reality with simulated environmental effects and feedback, providing a complete immersion of the user in virtual reality through exposure to sensory biological signaling systems (tactile, vestibular, auditory, visual). *Materials and methods.* As part of the implementation of this project, a software product has been created to control a multi-axis platform for virtual reality, providing full immersion of the user with simulated environmental impact and feedback. *Results.* The result of the project is a working prototype of the system.

**Keywords:** virtual reality, motion simulator, rehabilitation

**For citation:** Ivanov A.D., Tychkov A.Yu., Chernyshov D.S., Tverskaya S.Yu., Zolotarev R.V., Yakovlev M.S. Intelligent software control system for a multi-axis virtual reality platform with simulated environmental impact and feedback. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(2):97–103. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-12

### *Введение*

Для эффективного лечения и профилактики различных заболеваний современная медицина использует широкий спектр различных технологий, которые продолжают развиваться и доказывать свою эффективность.

За последние несколько лет наблюдается стремительное развитие устройств виртуальной реальности в медицинской сфере. PubMed – один из крупнейших сервисов по поиску медицинских исследований, предлагающий статистику по запросу «VR in medicine». Наблюдается экспоненциальный рост количества научных работ по данной тематике. В 2012 г. количество публикаций составляло 74, в 2019 – 504, а за 2022 г. показатель вырос до 954 научных работ.

Система виртуальной реальности, состоящая из сложной электроники, множества датчиков и подключаемых устройств, позволяет «обмануть» человеческие ощущения, заставить пациента чувствовать то, что не происходит с ним в реальном мире, это открывает широкие возможности по использованию VR в медицине.

### *Анализ предметной области*

Практикующие медицинские работники отмечают эффективность использования технологий VR для снижения восприятия боли после перенесенной травмы или во время выполнения процедур и операций путем погружения пациента в виртуальную реальность. Концентрация на ощущениях в виртуальной реальности позволяет организму в меньшей степени реагировать на болевые раздражители реального мира [1]. Данная технология получила название виртуально-реальный гипноз (VRH – virtual reality hypnosis).

С помощью виртуальной реальности появляется возможность лечить психосоматические фантомные боли в конечностях. Например, человек, страдающий от фантомных болей в руке, погрузившись в виртуальную реальность, может сместить фокус восприятия с болевых ощущений в отсутствующей конечности на ее цифровой прообраз, в результате чего боль либо исчезает, либо становится менее выраженной [2].

Виртуальная реальность также используется для нейрореабилитации. В работе [3] показана эффективность использования виртуальной реальности в лечении пациентов с патологиями ЦНС. Погружение в виртуальную реальность запускает механизмы восстановления нейросвязей, что позволяет бороться с нарушением равновесия, движения конечностей и другими симптомами.

Ученые из Белоруссии в своей статье доказали эффективность использования VR в реабилитации мануальной активности у детей с церебральным параличом [4].

Кроме коррекции болевого синдрома и нейрореабилитации, VR находит свое применение в офтальмологии, психиатрии, психологии и других медицинских направлениях.

Для проведения более эффективных сеансов лечения и реабилитации устройства виртуальной реальности постоянно совершенствуются. Для наилучшего опыта погружения пациента в виртуальную среду недостаточно одного лишь шлема виртуальной реальности, необходимо использовать дополнительное оборудование и подключаемые устройства. Во время погружения в виртуальную реальность на пациента все еще действуют внешние факторы, такие как температура, запахи, гравитация и т.п. В современных VR системах существуют специальные установки, управляющие климатом, который синхронизируется со сценой VR, платформы, позволяющие человеку ходить одновременно и в реальном, и в виртуальном мире. Однако во всей экосистеме устройств виртуальной реальности практически отсутствуют решения, которые позволили бы управлять положением человека в реальном пространстве во время погружения в виртуальные сцены. Наличие такого устройства позволило бы значительно улучшить опыт погружения в виртуальную среду и позволить людям, испытывающим проблемы с опорно-двигательной системой, в полной мере ощутить изменение положения своего тела, движение и ускорение в реальном мире.

Среди существующих технических решений можно выделить некоторые запатентованные устройства, выполняющие схожие функции. Корейский патент [6] демонстрирует устройство, позволяющее кабине с пользователем ориентироваться согласно положению пользователя в виртуальной реальности. Главным недостатком данного устройства является его размер. Кабина с человеком в данном варианте установлена на роботизированном манипуляторе, который

должен быть закреплен на прочной платформе, а силы, действующие в узлах манипулятора, из-за особенностей конструкции достаточно большие, вследствие чего возрастают требования к прочности конструкции, крутящему моменту моторов. Все вышеперечисленное, в свою очередь, значительно повышает цену изделия, удобство использования и мобильность устройства.

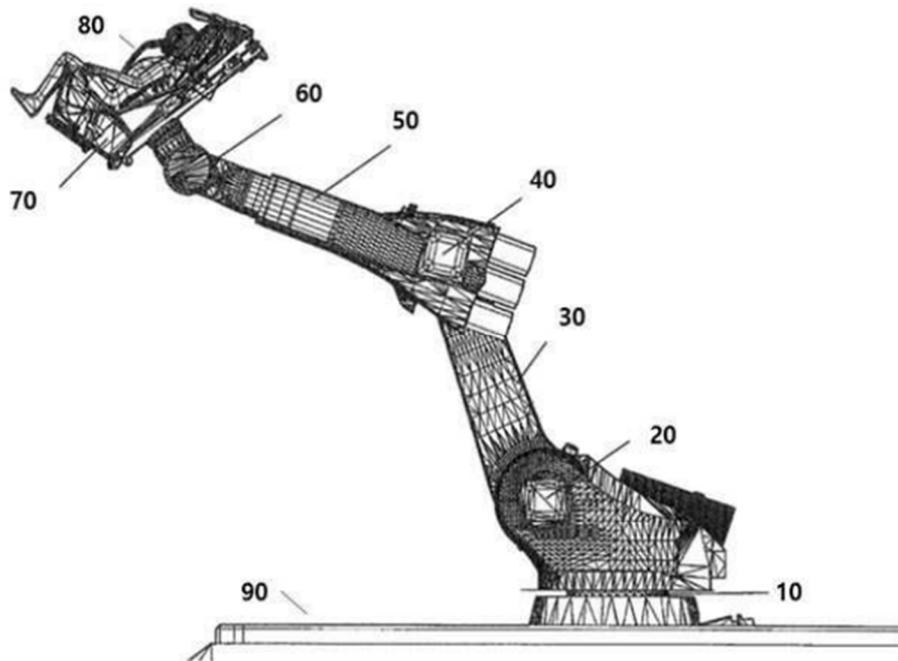


Рис. 1. Внешний вид запатентованного устройства

В патенте Virtual reality motion simulator [7] демонстрируется устройство, представляющее из себя кресло со встроенной механикой, позволяющее ему совершать повороты, согласно данным с VR. Недостатком данного устройства являются ограниченные углы поворота.

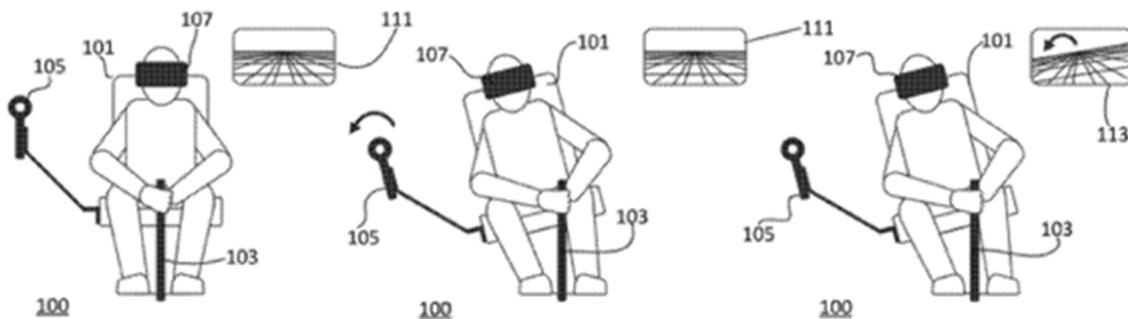


Рис. 2. Внешний вид запатентованного устройства

### *Предлагаемое решение*

Для устранения недостатков указанных технических решений предлагается разработка оригинальной многоосевой платформы для виртуальной реальности с имитацией воздействия внешней среды и обратной связью. Внешний вид предлагаемой платформы представлен на рис. 3. Предлагаемая система состоит из: шаговых двигателей, токосъемников и энкодеров. Наличие трех колец позволяет ориентировать человека в любом направлении. Для приведения колец в движение используются шаговые двигатели. Обладая сравнительно небольшим размером, они имеют достаточно высокий крутящий момент и точное позиционирование. Для получения углового значения каждого из колец используются энкодеры, которые следят за вращением и отправляют соответствующие сигналы на блок управления. Чтобы каждое из колец могло свободно вращаться, используются токосъемники, без которых невозможно проведение проводов к электронным компонентам на внутренних кольцах.

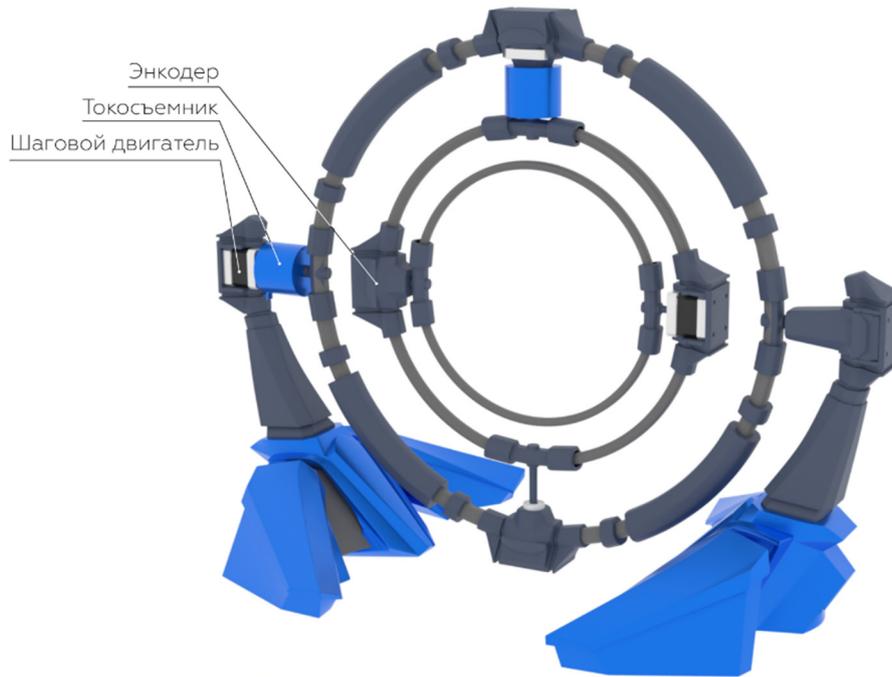


Рис. 3. Внешний вид многоосевой платформы

Суть идеи заключается в следующем (рис. 4). В сцене виртуальной реальности отслеживается положение объекта, в котором находится человек (машина). Положение виртуального объекта синхронизируется с положением человека в реальном пространстве. Например, если человек в виртуальной реальности передвигается на автомобиле, который начинает заезжать в гору, положение одного из колец платформы начнет изменяться, пользователь (находящийся в центре установки), следовательно, ощутит изменение положения своего тела в реальном мире.

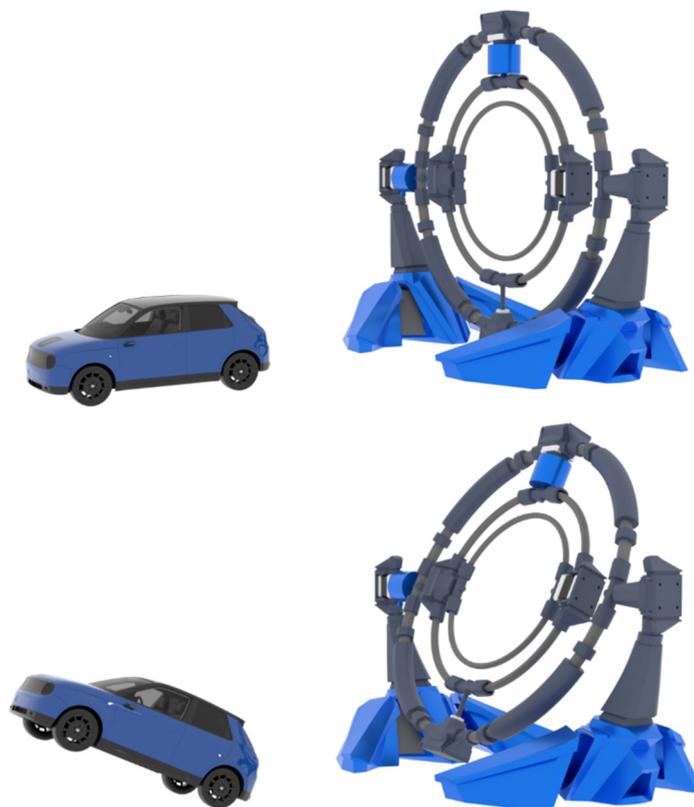


Рис. 4. Принцип работы многоосевой платформы

Обобщенная структурная схема системы управления платформы приведена на рис. 5.



Рис. 5. Обобщенная структурная схема системы управления платформы

Для работы с платформой были созданы сцены виртуальной реальности в Unreal Engine. Данные об угловом положении объекта в пространстве с помощью специально разработанного плагина через локальный порт компьютера отправляются на микроконтроллер в блок управления установкой. Двухъядерный микроконтроллер ESP32, являющийся центром блока управления, обладает достаточным количеством выводов и скоростью работы для поставленных целей. К микроконтроллеру подключаются микросхемы драйвера двигателя A4988, энкодеры, отслеживающие угол поворота колец, управляющий энкодер, LCD экран (рис. 6). Также предусмотрено управление установкой через протокол Bluetooth с помощью смартфона.



Рис. 6. Блок управления макетом

### **Заключение**

В ходе работы будет создана платформа, отвечающая всем вышеуказанным требованиям. Будут исключены недостатки существующих решений, а устройство займет свое место на рынке VR.

### **Список литературы**

1. ONeal B., Patterson D., Soltani M. et al. Virtual reality hypnosis in the treatment of chronic neuropathic pain: a case report // *Int J Clin Exp Hypn.* 2008. Vol. 56. P. 451–462.
2. Бофанова Н. С., Буланов А. А., Яворский А. С., Алехина Е. В. Технология виртуальной реальности как современное направление в реабилитации пациентов с фантомной болью // *Российский журнал боли.* 2021. № 19. С. 33–37.
3. Устинова К. И., Черникова Л. А. Виртуальная реальность в нейрореабилитации // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2008. № 2. С. 34–39.
4. Шалькевич Л. В. Эффективность использования технологий виртуальной реальности в комплексной реабилитации мануальной активности у детей с детским церебральным параличом // *Журнал Гродненского государственного медицинского университета.* 2020. № 18. С. 716–721.

5. Бурукина И. П., Привалов А. Э. Исследование современных подходов к проектированию цифровых интерфейсов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2022. № 1. С. 78–87. doi: 10.21685/2072-3059-2022-1-7
6. Петруня О. Э. Актуальные проблемы информационного подхода в биомедицине // Биомедицинская радиоэлектроника. 2017. № 10.
7. Пат. KR20180096155A, South Korea, inventors Imjin Guk, Jo Se-hoon. Multi-function multi-equipment virtual Reality Motion simulator and the method.
8. Пат. US10994216B2, United States, inventor David Board. Virtual reality motion simulator.

### References

1. Oneal B., Patterson D., Soltani M. et al. Virtual reality hypnosis in the treatment of chronic neuropathic pain: a case report. *Int J Clin Exp Hypn.* 2008;56:451–462.
2. Bofanova N.S., Bulanov A.A., Yavorskiy A.S., Alekhina E.V. Virtual reality technology as a modern direction in the rehabilitation of patients with phantom pain. *Rossiyskiy zhurnal boli = Russian Journal of Pain.* 2021;(19):33–37. (in Russ.)
3. Ustinova K.I., Chernikova L.A. Virtual reality in neurorehabilitation. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noy nevrologii = Annals of clinical and experimental neurology.* 2008;(2):34–39. (In Russ.)
4. Shal'kevich L.V. Efficiency of using virtual reality technologies in complex rehabilitation of manual activity in children with cerebral palsy. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of Grodno State Medical University.* 2020;(18):716–721. (In Russ.)
5. Burukina I.P., Privalov A.E. Research of modern approaches to the design of digital interfaces. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = Izvestia of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences.* 2022;(1):78–87. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2022-1-7
6. Petrunya O.E. Actual problems of the information approach in biomedicine. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical radioelectronics.* 2017;(10). (In Russ.)
7. Patent. KR20180096155A, South Korea, inventors Imjin Guk, Jo Se-hoon. *Multi-function multi-equipment virtual Reality Motion simulator and the method.*
8. Patent US10994216B2, United States, inventor David Board. *Virtual reality motion simulator.*

### Информация об авторах / Information about the authors

#### Александр Дмитриевич Иванов

аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
Email: Sailtothe54@Gmail.com

#### Aleksandr D. Ivanov

Postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### Александр Юрьевич Тычков

доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой радиотехники  
и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: tychkov-a@mail.ru

#### Aleksandr Yu. Tychkov

Doctor of technical sciences, associate professor,  
head of the sub-department of radio engineering  
and radioelectronic systems,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### Денис Сергеевич Чернышов

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: deniska\_1980\_13@mail.ru

#### Denis S. Chernyshov

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

#### Софья Юрьевна Тверская

инженер кафедры радиотехники  
и радиоэлектронных систем,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: tverskaya\_sofya@mail.ru

#### Sofia Yu. Tverskaya

Engineer of the sub-department of radio  
engineering and radioelectronic systems,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Руслан Валерьевич Золотарев**

инженер,

Центр экспозиционной медицины

(Россия, г. Пенза, ул. Кронштадская, 2)

E-mail: leshiy021178@gmail.com

**Ruslan V. Zolotarev**

Engineer,

Center for Exposure Medicine

(2 Kronshtadskaya street, Penza, Russia)

**Михаил Сергеевич Яковлев**

лаборант,

Центр экспозиционной медицины

(Россия, г. Пенза, ул. Кронштадская, 2)

E-mail: Iakovlev398@gmail.com

**Mihail S. Yakovlev**

Laboratory assistant,

Center for Exposure Medicine

(2 Kronshtadskaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 27.02.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 27.03.2023**

**Принята к публикации/Accepted 26.04.2023**