

Научная статья / Research Article  
<https://doi.org/10.11621/npj.2025.0209>  
УДК/UDC 159.91; 159.94

## ■ Моделирование навыков стрельбы в адаптивном биатлоне у спортсменов разного уровня мастерства с использованием технологий виртуальной реальности

А.А. Гасанов<sup>1</sup>, М.А. Одинцов<sup>2</sup>, С.В. Леонов<sup>1,2</sup>, П.Ю. Сухочев<sup>2</sup>, Е.А. Седогин<sup>3</sup>, М.Д. Белоусова<sup>2</sup>, И.С. Поликанова<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Федеральное научное учреждение психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Московский государственный университет спорта и туризма, Москва, Российская Федерация

 irinapolikanova@mail.ru

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Стремительный рост технологий виртуальной реальности (VR) и трекинга движений в последние годы позволил найти им применение во многих областях науки, в том числе в области спорта высших достижений. Благодаря совершенствованию VR-технологий становится возможным решение все большего круга задач в части тренировок спортсменов, немаловажную роль в которой играет психологическая подготовка атлетов.

**Цель.** Моделирование навыков стрельбы в адаптивном биатлоне у спортсменов разного уровня мастерства и новичков с использованием разработанной технологии виртуальной реальности, а также выявление наиболее информативных параметров стрельбы.

**Выборка.** В исследовании участвовали 15 испытуемых (средний возраст 24, SD = 11 лет), разделенных на три подгруппы. Первая подгруппа — новички (n = 5, средний возраст 27, SD = 7 лет). Вторая — любители (n = 4, средний возраст 13, SD = 2 года, 1-й юношеский разряд по адаптивному биатлону). Третья — профессиональные адаптивные биатлонисты (n = 6, средний возраст 25, SD = 10 лет) с разрядами от кандидата до мастера спорта международного класса.

**Методы.** В рамках проведенной работы была доработана виртуальная среда Biathlon-2024 под задачи адаптивного биатлона, которая позволила имитировать пробежку на лыжах и смоделировать стрельбу на биатлонном стрельбище с учетом особенностей адаптивного биатлона. Виртуальная среда реализована на платформе Unity 3D, что позволило обеспечить гибкость в моделировании предъявляемых условий. Трекинг винтовки проводился с использованием системы Antilatency.

**Результаты.** Показаны статистически значимые различия между тремя группами испытуемых по ряду показателей стрельбы, наиболее информативными из которых оказались параметры, связанные с постуральной устойчивостью стрелка. Парные сравнения выявили, что преимущественно значимые различия наблюдаются между новичками и профессиональными спортсменами.

**Выводы.** В рамках работы разработана и успешно апробирована технология виртуальной реальности для моделирования и тренировки стрельбы в адаптивном биатлоне, проведено исследование на спортсменах разного уровня мастерства, а также новичках, выявлены наиболее информативные параметры стрельбы. Разработанная VR-среда показала свою адекватность как инструмент психологической подготовки и совершенствования навыков стрельбы у адаптивных биатлонистов.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, VR, адаптивный биатлон, адаптивный спорт, биатлон, тренировка стрельбы, стрельба по мишеням

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерацией в лице Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2024-526) «Разработка научных основ эффективных технологий с включением инновационных модулей комплексной медико-психологической и междисциплинарной реабилитации, абилитации, ресоциализации и реадaptации ветеранов и участников боевых действий, членов их семей и других затронутых категорий населения».

**Благодарности.** Авторы благодарят за помощь в предоставлении спортивного инвентаря Московскую академию лыжных гонок и биатлона в лице Оксаны Алексеевны Зайцевой и Ольги Алексеевны Зайцевой, а также за помощь в сборе данных Ирину Александровну Громову и Андрея Ивановича Гладышева, старших тренеров Паралимпийской сборной России по лыжным гонкам и биатлону, Ивана Владимировича Гончарова, тренера по стрельбе Паралимпийской сборной России по лыжным гонкам и биатлону, а также членов сборной, принявших участие в исследовании.

**Для цитирования:** Гасанов, А.А., Одинцов, М.А., Леонов, С.В., Сухочев, П.Ю., Седогин, Е.А., Белоусова, М.Д., Поликанова, И.С. (2025). Моделирование навыков стрельбы в адаптивном биатлоне у спортсменов разного уровня мастерства с использованием технологий виртуальной реальности. *Национальный психологический журнал*, 20(2), 130–149. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0209>

## ■ Modeling Shooting Skills in Adaptive Biathlon for Athletes of Varying Skill Levels Using Virtual Reality Technologies

A.A. Gasanov<sup>1</sup>, M.A. Odintsov<sup>2</sup>, S.V. Leonov<sup>1,2</sup>, P.Yu. Sukhochev<sup>2</sup>, E.A. Sedogin<sup>3</sup>, M.D. Belousova<sup>2</sup>, I.S. Polikanova<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Federal Scientific Centre of Psychological and Multidisciplinary Research, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Moscow State University of Sports and Tourism, Moscow, Russian Federation

 irinapolikanova@mail.ru

### ABSTRACT

**Background.** The rapid growth of virtual reality (VR) and motion tracking technologies in recent years has allowed them to find applications in many fields of science, including elite sports. With the advancement of VR technologies, it becomes possible to address an increasing range of tasks for athlete training.

**Objectives.** To develop and test a virtual reality technology for shooting training in adaptive biathlon.

**Study Participants.** The study involved 15 participants (mean age 24, SD = 11 years), divided into three subgroups. The first subgroup consisted of beginners (n = 5, mean age 27, SD = 7 years). The second subgroup included amateurs (n = 4, mean age 13, SD = 2 years, with a 1st junior rank in adaptive biathlon). The third subgroup comprised professional adaptive biathletes (n = 6, mean age 25, SD = 10 years) with ranks ranging from candidate to international master of sports.

**Results.** Significant differences were shown among the three groups according to the Kruskal — Wallis criterion. Pairwise comparisons revealed that predominantly significant differences were observed between beginners and professionals. It was shown that with an increase in skill level among biathletes, there is a rise in the indicators of “average score” (p < 0.05) and “accuracy” (p < 0.05), while “score deviations” did not demonstrate any patterns. The most significant parameters for successful shooting are those related to postural stability and rifle holding stability: “average curve length” (p < 0.05), “length deviations” (p < 0.001), “average area under the curve” (p < 0.001), and “area deviations” (p < 0.05). The parameter “shooting time” varied among all participants, but no significant differences were found, which may be related to the conditions of virtual reality and the use of an experimental rifle.

**Conclusions.** The study successfully tested virtual reality technology for shooting training in adaptive biathlon. The developed environment proved to be adequate as a tool for diagnosing and training shooting skills. Key parameters for aiming were identified: average curve length, its deviations, average aiming area, as well as average score and accuracy.

**Keywords:** virtual reality, VR, adaptive biathlon, adaptive sports, biathlon, shooting training, target shooting

**Funding.** The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (the research project 075-15-2024-526) “Development of scientific foundations for effective technologies incorporating innovative modules for comprehensive medical-psychological and interdisciplinary rehabilitation, habilitation, resocialization, and readaptation of veterans and combat participants, their family members, and other affected categories of the population”.

**Acknowledgments.** The authors would like to thank the Moscow Academy of Ski Racing and Biathlon, represented by Oksana A. Zaitseva and Olga A. Zaitseva, for their assistance in providing sports equipment, as well as the coaching staff of the Russian Paralympic team in skiing and biathlon, represented by Irina Alexandrovna Gromova, Andrey Ivanovich Gladyshev, Ivan V. Goncharov, and the team members who participated in the research, for their help in data collection.

**For citation:** Gasanov, A.A., Odintsov, M.A., Leonov, S.V., Sukhochev, P.Yu., Sedogin, E.A., Belousova, M.D., Polikanova, I.S. (2025). Modeling shooting skills in adaptive biathlon for athletes of varying skill levels using virtual reality technologies. *National Psychological Journal*, 20(2), 130–149. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0209>

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие технологий виртуальной реальности (ВР, VR) и трекинга движений в последние годы позволил найти им применение во многих областях науки (Гордеева, Кононенко, 2023; Пономарева, 2022; Варламов, Яковлева, 2022; Поликанова и др., 2024). Опыт использования этих технологий в спортивной психологии и физиологии отражается в публикациях как зарубежных, так и отечественных научных коллективов (Поликанова и др., 2022; Леонов и др., 2020; Vignais et al., 2015; Wood et al., 2021; Якушина и др., 2024; Pogorelov, Rylskaya, 2022).

Технологии ВР обладают рядом преимуществ, делающих их перспективным научным инструментом по сравнению с классическими парадигмами спортивной психологии. Так, они позволяют моделировать различные спортивные ситуации, которые в реальности требуют наличия специального оборудования, нахождения на стадионе или трассе, определенной ситуации в игре или погодных условий (Leonov et al., 2020; Якушина и др., 2024). Возможность моделирования воспроизводимой спортивной ситуации в ВР позволяет наблюдать поведение спортсмена и записывать комплекс сенсомоторных, психофизиологических, биомеханических и других данных. В свою очередь это дает широкие возможности для постановки и проведения экспериментов, в том числе адаптированных для определенных категорий спортсменов (адаптивный спорт), а также обеспечивает эффективную психологическую подготовку благодаря отработке ситуаций разного уровня сложности (Терпелец, Григорова, 2024; Алексеева, 2022; Polikanova et al., 2022).

### Исследование стрельбы в биатлоне

Биатлон — олимпийский вид спорта, отличительной особенностью которого является сочетание лыжных гонок и стрельбы из винтовки, что требует значительных физиологических усилий, а также тонкого моторного контроля при стрельбе после интенсивных тренировок и под психологическим давлением (Laaksonen et al., 2018). Как и в других видах спорта, в биатлоне сегодня применяются все более совершенные технологии подготовки, основанные на результатах научных исследований (Finkenzyler et al., 2016; Park, Park, 2017; Tjønndal, 2024).

Несмотря на популярность биатлона, научные исследования стрельбы в этом виде спорта редки и несистематичны, в основном они сосредоточены на физиологических факторах, а также влиянии колебаний тела и винтовки на результаты (Sattler et al., 2016). Стрельба — это навык, на который могут оказывать влияние такие физические и физиологические факторы, как: а) динамика движений пальца при спуске, б) давление на приклад при отдаче, в) постуральный баланс, г) стабильность винтовки и д) давление на стрелковый ремень (Goonetilleke et al., 2009; Sattler et al., 2016; Laaksonen et al., 2018).

Поза стрелка также играет важную роль: стрельба из винтовки лежа более стабильна, чем из положения стоя. Винтовка имеет большую массу и момент инерции, что делает ее менее подверженной двигательным шумам мышц. Важно учитывать эти аспекты для достижения стабильности при стрельбе (Goonetilleke et al., 2009).

Тремор оказывает значительное влияние на эффективность стрельбы, поэтому факторы, его вызывающие, также сказываются на результатах. Кроме того, как правило, ученые сходятся во мнении, что тремор не поддается волевому контролю (Durbaba et al., 2005; Lakie et al., 1986; McAuley et al., 2000).

Активность сердца и дыхательные движения также влияют на величину тремора. В расслабленном состоянии у человека присутствует физиологический тремор, связанный с сердцебиением, который вызывает колебания конечности на резонансной частоте и составляет 2–10% от общего постурального тремора (Marsden et al., 1969).

### Отличительные особенности адаптивного биатлона по сравнению с классическим

На зимних Паралимпийских играх 1994 года в норвежском Лиллехаммере биатлон впервые вошел в официальную программу соревнований. В адаптивном биатлоне могут выступать спортсмены с поражениями верхних конечностей (одной или обеих рук), с поражениями опорно-двигательного аппарата, включая травмы позвоночника, врожденные

заболевания спинного мозга, ампутации ног, ДЦП, а также с нарушениями зрения<sup>1</sup>. Биатлонисты с нарушениями зрения при стрельбе применяют ружья, оборудованные электронно-акустическими очками. Сигнал становится громче по мере приближения прицела к центру мишени. Размер мишени для таких спортсменов больше, чем для первых двух групп. Пробежка для спортсменов без руки совершается на классических лыжах, однако им приходится обходиться только одной палкой, для спортсменов без ноги (ног) гонка ведется на санях, а палки имеют меньшую длину.

В адаптивном биатлоне стрельба осуществляется исключительно из положения лежа. За промахи предусмотрены штрафы, которые могут выражаться либо в добавлении времени к основному результату, либо в виде штрафных кругов. Расстояние до мишени составляет 10 метров, дается сделать пять выстрелов. Размер самой мишени уменьшен до 45 мм. При этом сами мишени расположены ближе друг к другу, чтобы спортсмену не приходилось перемещаться в положении лежа в стороны. Во время стрельбы винтовка кладется на специальную подставку на пружине, обеспечивающей одновременно стабильность и свободу движения ружья, либо с использованием стрелкового ремня (Рисунок 1).

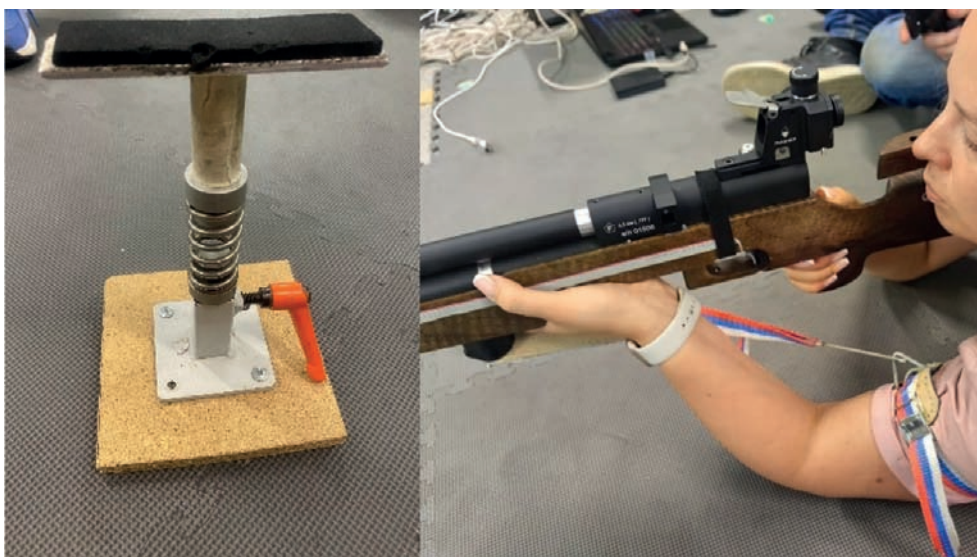


Рисунок 1

Специальная опора для стрельбы в адаптивном биатлоне (слева), стрелковый ремень (справа)

Figure 1

Special support for shooting in adaptive biathlon (left), shooting belt (right)

**Целью** данного исследования является моделирование навыков стрельбы в адаптивном биатлоне у спортсменов разного уровня мастерства и новичков с использованием разработанной технологии виртуальной реальности, что позволит выявить ключевые параметры стрельбы и факторы, в том числе психологические, влияющие на ее эффективность. Полученные результаты позволят в дальнейшем более эффективно адаптировать тренировочный процесс к индивидуальным особенностям спортсменов, учитывая их уровень подготовки и мастерства, а также благодаря возможности варьирования уровня сложности параметров виртуальной среды, к примеру, изменения расстояния до мишеней, их размера и других условий.

## ВЫБОРКА

В исследовании участвовали 15 человек ( $M_{\text{возраст}} = 24$  года,  $SD = 11$ ), которые были поделены на 3 подгруппы:

- новички, не занимающиеся биатлоном ( $n = 5$ ,  $M_{\text{возраст}} = 27$  лет,  $SD = 7$ );
- любители, на регулярной основе занимающиеся адаптивным биатлоном и имеющие 1-й юношеский разряд по биатлону ( $n = 4$ ,  $M_{\text{возраст}} = 13$  лет,  $SD = 2$ );
- профессиональные биатлонисты, имеющие разряды кандидат в мастера спорта, мастер спорта, заслуженный мастер спорта, мастер спорта международного класса ( $n = 6$ ,  $M_{\text{возраст}} = 25$  лет,  $SD = 10$ ).

Исследование проведено с участием спортсменов двух направлений адаптивного биатлона: (1) имеющих поражения опорно-двигательного аппарата, (2) имеющих поражения одной из рук.



## МЕТОДЫ

### Разработка виртуальной среды

#### Разработка виртуальной среды Biathlon-2024

Разработка виртуальной среды осуществлялась в несколько этапов. На первом этапе была создана виртуальная среда Biathlon-2024, моделирующая ситуации пробежки на лыжах и стрельбы в классическом биатлоне из положения стоя. VR-среда создавалась на платформе Unity 3D, позволяющей одинаково удобно и свободно работать как с модулями (плагинами) VR, так и с чтением, а также записью внешних данных.

Пользователь виртуальной среды оказывается в сцене биатлонной трассы, где ему сначала предстоит совершить пробежку на лыжах, отталкиваясь виртуальными лыжными палками (Рисунок 2). Положение лыжных палок в VR-среде отслеживается контроллерами, находящимися в руках пользователя. Траектория движения заранее определена. Данная «пробежка» предназначена для имитации нагрузки, с которой сталкивается спортсмен-биатлонист при подходе к стрелковому рубежу.

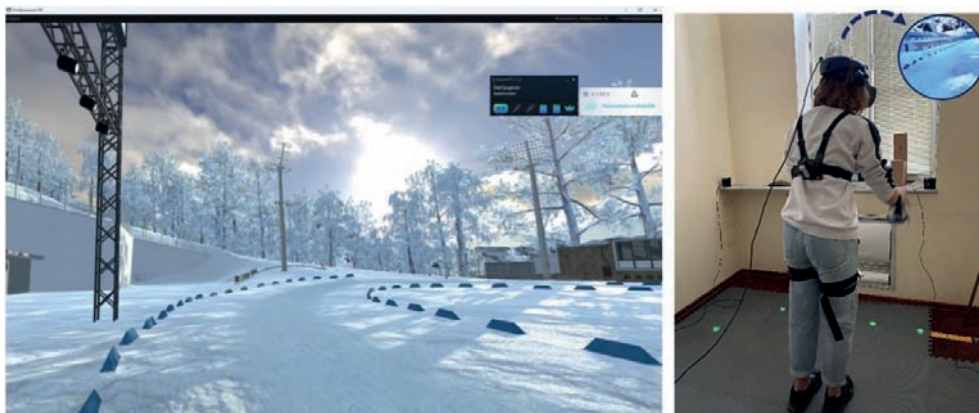


Рисунок 2

Кадр из VR во время выполнения «пробежки» (слева) и вид участника (справа)

Figure 1

Frame from VR while performing a “skiing run”



Рисунок 3

Кадр из VR во время выполнения стрельбы (слева) и вид участника (справа)

Figure 2

Frame from VR during a shooting session

Вторая часть виртуальной среды моделирует процесс стрельбы (Рисунок 3). Экспериментатор забирает у участника контроллеры и дает ему в руки винтовку, снабженную датчиком трекинга и специальной кнопкой под спусковым крючком, подающей в программу сигнал о выстреле. Для задач моделирования стрельбы в виртуальной среде в условиях, максимально приближенных к реальным, принято решение использовать винтовку Пионер 345К с отсутствующим газоблоком, необходимым для совершения выстрела. В данном случае винтовка нужна была только в качестве макета, полностью идентичного реальным условиям среды, поскольку для профессиональных спортсменов в любых стрелковых видах спорта изменение веса оружия даже на несколько грамм является критически значимым для эффективности стрельбы. В нашем случае стрельба совершалась в VR-среде через нажатие курком на кнопку, расположенную под ним (Рисунок 4).



**Рисунок 4**  
**Расположение курка и пусковой кнопки на экспериментальной винтовке**  
**Figure 4**  
**Location of trigger and firing pin on the experimental rifle**

Как уже было отмечено выше, использование винтовки Пионер 345К необходимо для наиболее точного воспроизведения обработки спуска, что спортсменами отмечалось как один из важнейших компонентов в биатлоне. При нажатии на спусковой крючок в виртуальной среде производился выстрел, и, если винтовка была направлена на цель (имелась прямая линия глаз — диоптр — мушка), засчитывалось попадание. Участник получал восемь патронов на пять мишеней, имея возможность при необходимости пристреляться. VR-среда позволяла изменять дистанцию до мишеней. В соответствии с регламентом, расстояние до мишени в биатлоне составляет 50 метров. Однако в условиях виртуальной среды не все шлемы могут дать достаточное разрешение картинки. В связи с этим, а также с возможностью тренировать менее опытных новичков, было принято решение на первых этапах разработки среды уменьшить дистанцию до мишени.

При разработке виртуальной среды Biathlon-2024 закладывалась возможность варьировать параметры эксперимента, моделируя те или иные условия. Для этого в файлах программы был создан файл конфигурации, доступный для редактирования извне без специального программного обеспечения (ПО), в том числе во время работы приложения. Файл конфигурации включал в себя настройку дальности мишеней, включение или выключение пробежки, мультипликатор (коэффициент умножения) скорости пробежки, количество патронов и т.д., вместе с параметрами эксперимента вводились персональные данные участника (имя, пол, возраст, наличие спортивного разряда, вид спорта) после получения у него информированного согласия. Оператор также мог вносить изменения в виртуальную среду «на ходу», перезапуская эксперимент с новыми параметрами. Пример интерфейса оператора представлен на Рисунке 5.



Рисунок 5

### Расширенный интерфейс оператора

Figure 5

### Advanced operator interface

*Доработка виртуальной среды Biathlon-2024 для задач адаптивного биатлона*

Отдельной задачей было создание среды для адаптивных спортсменов — в биатлоне по специальным правилам могут выступать спортсмены без одной руки (или с потерей функций одной руки), без одной или двух ног (или с потерей их функций), а также с нарушениями зрения. Для первых двух групп адаптивных спортсменов было решено доработать виртуальную среду, обеспечив им возможность и удобство прохождения эксперимента. В случае нарушений зрения, при стрельбе спортсмен начинает ориентироваться на звуковые сигналы, вместо визуальных стимулов, поэтому в текущей редакции виртуальная среда Biathlon-2024 для таких спортсменов не подходит.

Изначально вложенный в разработку виртуальной среды принцип вариативности условий позволил в рамках единого приложения сочетать условия обычного и адаптивного биатлона. Были воспроизведены в качестве 3D-модели мишени адаптивного биатлона, а в файл конфигурации внесена настройка на то, какие мишени на данный момент используются (Рисунок 6). В «пробежке» ноги не использовались, а скорость движения определялась интенсивностью отталкивания виртуальными палками от трассы, была введена возможность использовать только одну лыжную палку. На Рисунке 7 представлен пример выполнения стрельбы адаптивным биатлонистом и отображение контента на мониторе компьютера.

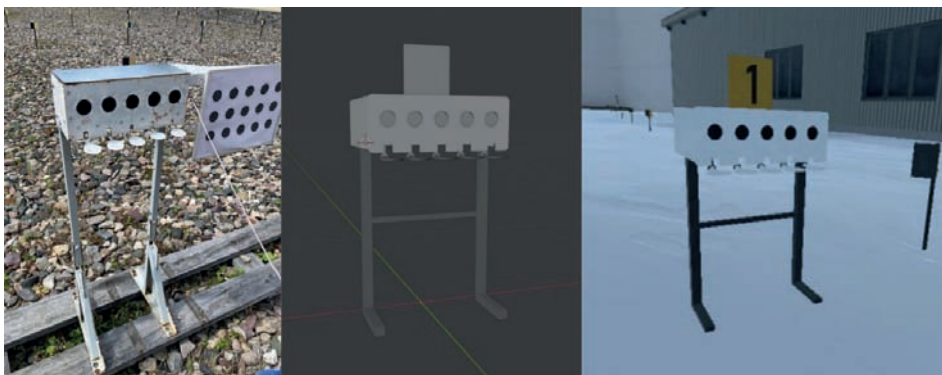


Рисунок 6

Мишень адаптивного биатлона: фото (слева), модель в 3D-редакторе (в центре), объект в виртуальной среде (справа)

Figure 6

Adaptive biathlon target: photo (left), model in 3D-editor (middle), object in virtual environment (right)





Рисунок 7

**Выполнение стрельбы лежа спортсменами адаптивного биатлона (слева) и отображаемый VR-контент на экране монитора (справа)**

Figure 7

**Performance of recumbent shooting by adaptive biathlon athletes (left) and VR content displayed on the monitor screen (right)**

Проблемой стало уменьшение дистанции до 10 метров вместо 20 и 30, которое вызывало у спортсменов ощущение, что мишени находятся дальше. Разрешение VR-шлема не позволяло четко различать маленькие объекты на таком расстоянии. Работа проводилась в двух направлениях: проверка корректности дистанций в виртуальной среде и переход на новое VR-оборудование из-за низкой четкости картинки на дальних дистанциях.

Одной из ключевых задач стал выбор оптимального VR-шлема для стрельбы, который мог бы обеспечить максимально четкое разрешение, которое необходимо для стрельбы по мишеням на большой дистанции. На первом этапе использовался HTC Vive Pro, недостатками которого было невысокое разрешение линз (1440 × 1600 пикселей на глаз) и достаточно большие габариты (550 грамм), которые затрудняли прицеливание и приводили к смещению шлема на голове, что снижало четкость изображения.

В качестве альтернативы были выбраны шлемы HTC Vive Focus 3 и Pico 4 Pro. Оба шлема являются портативными VR-системами, поддерживающими проводную и беспроводную трансляцию с компьютером, что важно для настройки эксперимента. Разрешение Vive Focus 3 составляет 2448 пикселей на глаз, а Pico 4 — 2160 пикселей, при этом линзы Pico 4 обеспечивают меньший уровень размытия. Габариты обоих шлемов меньше и не мешают прицеливанию. Pico 4 весит 295 граммов и в версиях Pro и Enterprise имеет встроенный окулограф для отслеживания взгляда, тогда как для Vive Focus 3 он доступен отдельно. В итоге был выбран Pico 4, обеспечивающий наилучший комфорт при прицеливании.

#### *Система трекинга винтовки*

Другим важным элементом оборудования являлась система трекинга. В первоначальной версии с HTC Vive Pro для отслеживания винтовки и визуализации ее в виртуальном пространстве использовались трекары Vive, а для передачи сигнала о выстреле применялась технология rogo-pins (подпружиненный контакт) трекаров Vive (Alsaedi and Wloka, 2021). Стабильность работы трекаров Vive, однако, может оказаться недостаточной для столь точного занятия, как прицельная стрельба, а принцип outside-in трекинга (предполагающий отслеживание шлема, контроллеров и трекаров при помощи камер — базовых станций) допускал возможности перекрытия оптического сигнала.

Более точным и стабильным решением была выбрана система трекинга Antilatency российского производства (Рисунок 8). Данное оборудование состоит из набора камер для пола или потолка, фиксируемых конструкцией из резинового покрытия, а также трекаров, которые они отслеживают. Модуль Extension позволяет подключать внешнюю кнопку для сигнала о выстреле. Пол Antilatency хорошо зарекомендовал себя в работе с адаптивными спортсменами, так как трекары, установленные на ружье, не перекрывались телом спортсмена, а максимальное качество трекинга обеспечивалось близким расположением подставки к камере.

#### *Анализ и коррекция соответствия метрических и угловых величин в реальности и в виртуальной среде*

В процессе доработки виртуальной среды для биатлона возникла необходимость проанализировать соответствие угловых размеров объектов в Unity с реальными размерами. Профессиональные биатлонисты отмечают, что расстояния в VR не соответствуют действительности: например, 10 метров в VR субъективно воспринимаются как 12–15 метров. Это потребовало поиска корректных коэффициентов. Для выяснения корректны ли расстояния в виртуальной среде, были проведены отдельные измерения, где для сравнения расстояний виртуальной среды (unity-метры) и реальности (метры) был применен универсальный метод измерения — вычисление угловых размеров. Итоговый коэффициент составил 0,72, SD = 0,01. Таким образом, угловые размеры в Unity в 0,72 раза меньше реальных угловых размеров объекта.



После введения в виртуальной среде коэффициента расстояния 0,72 для моделей объектов стрельбища спортсменами отмечалось, что дистанция выглядит и ощущается как привычные для них 10 метров.



**Рисунок 8**

**Расположение датчика Antilatency на винтовке (слева) и расположение испытуемого на резиновом покрытии Antilatency (справа)**

**Figure 8**

**Antilatency sensor location on the rifle (left) and location of the test subject on the Antilatency rubber coating (right)**

### **Процедура исследования**

Исследование проводилось в течение двух дней (27–28 августа 2024 года) в период летних сборов. При этом часть спортсменов участвовали и в первый, и во второй день, а часть — только в один из дней. Запись данных проводилась либо до тренировки, либо сразу после (примерно поровну).

Исследование начиналось с подробной инструкции и визуального показа того, как будет выглядеть виртуальная среда и как будет проводиться запись данных. Система настраивалась отдельно под каждого участника: подбирались удобное положение опоры и приклада, настраивался прицел в ВР. Участник проводил несколько тестовых выстрелов. После этого начинался основной этап эксперимента.

Задачей спортсмена было попасть в пять биатлонных мишеней с использованием восьми патронов с дистанции 10 метров. Каждый участник проводил три-пять серий стрельбы из положения лежа (Рисунок 8). Длительность записи одного испытуемого занимала 15–20 минут.

При этом в итоговый анализ отбирались по две серии стрельбы с минимальным количеством артефактов различного происхождения (двигательные или технические). Это было связано с тем обстоятельством, что в некоторых случаях происходила потеря трекинга винтовки по техническим причинам (к примеру, из-за потери связи). В некоторых случаях испытуемые показывали низкие результаты стрельбы, к примеру, из-за неудачной настройки прицела в ВР или по другим причинам.

Полученные данные обрабатывались автоматизированным скриптом на языке программирования Python, полученные значения проверялись, выбросы исключались из дальнейшей обработки.

### **Регистрация и анализ данных**

#### *Запись данных*

Разработанная технология виртуальной реальности позволяет одновременно записывать несколько блоков данных: трекинг движений и перемещения винтовки (в случае адаптивного биатлона проводился только трекинг винтовки), психофизиологические данные (показатели электрической активности головы и сердца, а также другие параметры), окулография, сенсомоторные и временные параметры (скорость нажатия курка, время прицеливания и др.).

На данном этапе представляет интерес проанализировать трекинг винтовки и временные показатели на разных группах испытуемых (новички, любители, профессионалы), поскольку результаты позволят оценить адекватность разработанного инструментария, а также выявить наиболее информативные показатели.

Трекинг винтовки осуществлялся на максимально доступной частоте для оборудования Antilatency — до 400 Гц. Для анализа брался отрезок времени в 1 секунду до выстрела.

В рамках исследования регистрировались координаты точек прицеливания на плоскости мишеней, положение и поворот винтовки, на основе которых подсчитывались следующие параметры:

- средняя длина кривой прицеливания и ее отклонения — длина (см) траектории прицеливания на плоскости мишени в течение 1 секунды до выстрела, усредненная по 5 выстрелам; и ее отклонение от условного нуля;
- средняя площадь области прицеливания и ее отклонения — область прицеливания на плоскость мишени, выраженное в квадратных сантиметрах (см<sup>2</sup>), в течение 1 секунды до выстрела, усредненная по 5 выстрелам; и ее отклонения;
- средний счет и его отклонения — количество баллов, получаемых испытуемым, по каждому выстрелу в зависимости от близости к центру мишени по аналогии со стрелковой мишенью (центр мишени — 10 баллов), усредненный по 5 выстрелам; а также отклонения по 5 выстрелам;
- попадания — количество попаданий за один цикл стрельбы (5 мишеней, на которые дается 8 патронов);
- количество выстрелов — количество выстрелов за один цикл стрельбы;
- точность — отношение количества попаданий к количеству выстрелов, выражается в процентах (100% будет в случае, когда закрыто 5 мишеней за 5 выстрелов);
- время стрельбы — общее время (в секундах), за которое испытуемый совершает 1 цикл стрельбы.

В рамках проведенного анализа обработаны данные прицеливания — точки пересечения линии прицела с плоскостью мишеней. Аналитика данных прицеливания проводилась аналогично аналитике стрелкового тренажера SCATT (Zanevskyy et al., 2014), но с модификациями. Выстраивались визуальные отображения перемещения прицела по мишеням, высчитывался ряд интегральных показателей.

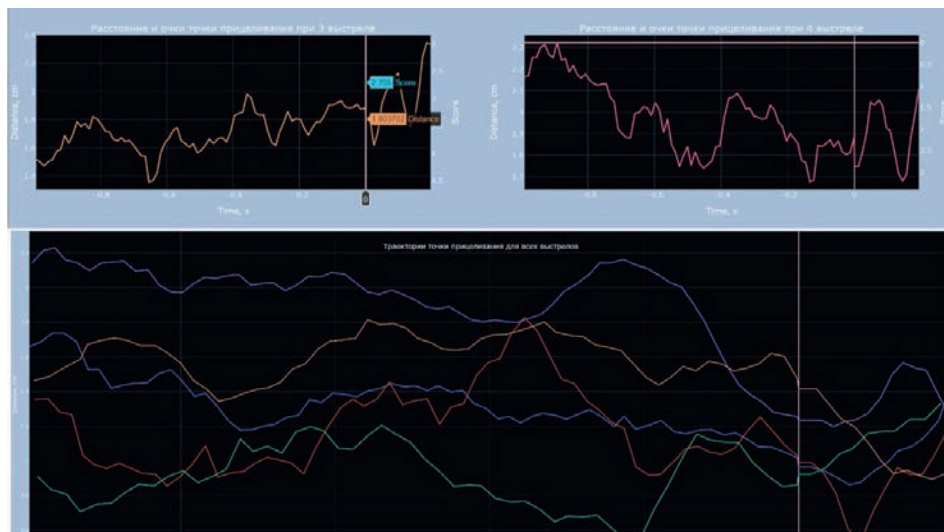


Рисунок 9

Графики траектории точки прицеливания и очков для отдельных выстрелов (вверху) и для всех пяти выстрелов (внизу)

Примечание: по оси у отмечено расстояние до мишени (в см) и очки в каждый момент времени

Figure 9

Graphs of the aiming point trajectory and scores for individual shots (top) and for all five shots (bottom)

Note: the y-axis shows the distance to the target (in cm) and the scores at each time point

На Рисунке 9 представлено изображение графиков, отображающих динамику отдельных выстрелов (вверху), а также отображение пяти графиков для всех выстрелов.

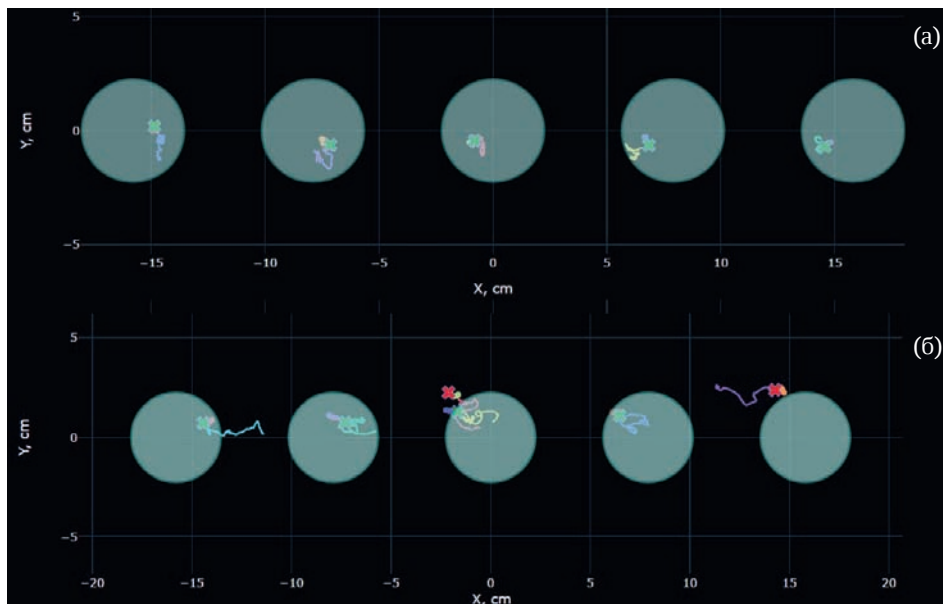


Рисунок 10

Примеры визуализации трекинга прицеливания за 1 секунду до выстрела, спроецированные на плоскости мишеней у профессионального биатлониста (а) и новичка (б)

Figure 10

Visualisation examples of target tracking 1 second before the shot, projected on target planes in a professional biathlete (a) and a novice (b)

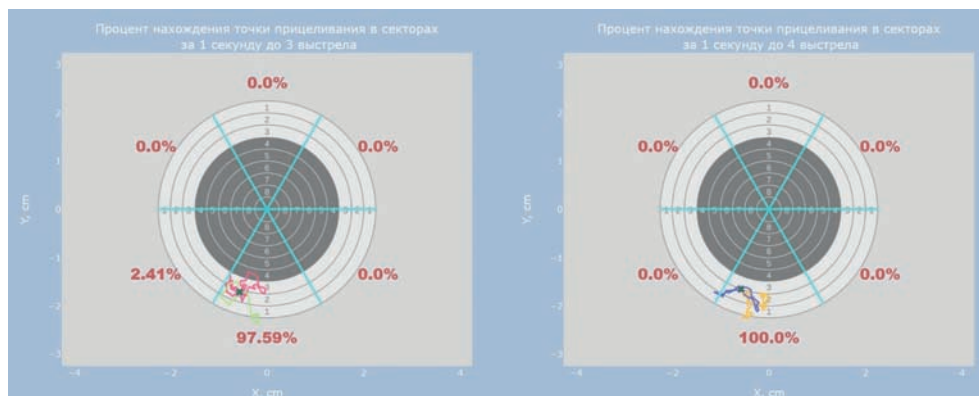


Рисунок 11

Пример визуализации процентного распределения по секторам мишени динамики трекинга прицеливания

Примечание: данные выстрелы соответствуют выстрелам на Рисунке 9

Figure 11

Example of visualization of percentage distribution by sectors of the target of target tracking dynamics

Note: These shots correspond to the shots in Figure 9



На Рисунке 10 изображены примеры визуализации трекинга прицеливания за 1 секунду до выстрела, спроецированные на плоскость мишеней. На данном этапе отображение сделано аналогично тренировочной системе SCATT. Разными цветами отображаются разные периоды прицеливания: от 1 до 0,2 секунды до выстрела, от 0,2 секунды до выстрела до 0,2 секунды после выстрела.

Для более детального анализа каждого выстрела изображение мишеней, на которые были спроецированы визуализации трекинга прицеливания за 1 секунду до выстрела, были поделены на 6 секторов (Рисунок 11). На данный момент автоматизированный скрипт на языке программирования Python позволяет высчитывать процентное нахождение трекинга в данных секторах. Данная информация позволяет спортсмену в дальнейшем скорректировать процесс прицеливания.

#### Анализ данных

Выборка была разделена на 3 группы в зависимости от уровня мастерства: новички, любители, профессионалы. Для статистического анализа были отобраны параметры выстрелов на отрезке 1 секунда до выстрела: средняя длина кривой прицеливания, ее отклонения, средняя площадь области прицеливания, ее отклонения, средний счет и его отклонения, точность и количество выстрелов для закрытия 5 мишеней (из 8 возможных).

Сравнительный анализ проводился с использованием программы Jamovi 2.4.1. В связи с небольшим размером выборки было принято решение использовать непараметрический критерий Краскела — Уоллиса ( $\alpha = 0,05$ ) для сравнения параметров стрельбы по трем экспериментальным группам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Таблице 2 представлены результаты статистического сравнения параметров выстрелов в трех группах.

Таблица 2

#### Результаты статистического анализа сравнения параметров выстрелов в трех группах

Параметр	Группа	Среднее	SD	$\chi^2$	p	Размер эффекта
Средняя длина кривой	1	7,95	2,61	9,260	<b>0,010</b>	0,33070
	2	6,13	3,28			
	3	4,78	1,10			
Средняя площадь	1	2,16	1,36	10,967	<b>0,004</b>	0,39167
	2	1,42	2,14			
	3	0,64	0,47			
Средний счет	1	2,89	1,68	7,087	<b>0,029</b>	0,25309
	2	4,46	2,21			
	3	5,20	1,35			
Отклонения длины кривой	1	3,02	2,97	9,697	<b>0,008</b>	0,34631
	2	1,63	2,30			
	3	0,88	0,52			
Отклонения площади кривой	1	1,80	1,73	9,877	<b>0,007</b>	0,35275
	2	1,31	2,31			
	3	0,42	0,44			
Отклонения счета	1	2,30	0,85	1,885	0,390	0,06734
	2	1,71	0,78			
	3	1,89	1,09			
Попадания	1	4,78	1,09	8,743	<b>0,013</b>	0,31225
	2	4,63	0,74			
	3	5,92	1,16			
Количество выстрелов	1	7,00	1,12	2,286	0,319	0,08163
	2	6,13	1,55			
	3	6,33	1,23			

Точность	1	0,71	0,23	6,177	<b>0,046</b>	0,22061
	2	0,81	0,27			
	3	0,94	0,11			
Время стрельбы	1	58,4	27,6	0,187	0,911	0,00669
	2	94,9	77,2			
	3	74,9	52,3			

Примечание. 1 — группа новичков, 2 — любители, 3 — профессионалы

**Table 2**

**Results of statistical analysis of comparison of shot parameters in three groups**

Parameter	Group	Average	SD	$\chi^2$	p	Effect size
Average curve length	1	7.95	2.61	9.260	<b>0.010</b>	0.33070
	2	6.13	3.28			
	3	4.78	1.10			
Average area	1	2.16	1.36	10.967	<b>0.004</b>	0.39167
	2	1.42	2.14			
	3	0.64	0.47			
Average count	1	2.89	1.68	7.087	<b>0.029</b>	0.25309
	2	4.46	2.21			
	3	5.20	1.35			
Deviations of curve length	1	3.02	2.97	9.697	<b>0.008</b>	0.34631
	2	1.63	2.30			
	3	0.88	0.52			
Curve area deviations	1	1.80	1.73	9.877	<b>0.007</b>	0.35275
	2	1.31	2.31			
	3	0.42	0.44			
Count deviations	1	2.30	0.85	1.885	0.390	0.06734
	2	1.71	0.78			
	3	1.89	1.09			
Hits	1	4.78	1.09	8.743	<b>0.013</b>	0.31225
	2	4.63	0.74			
	3	5.92	1.16			
Number of shots	1	7.00	1.12	2.286	0.319	0.08163
	2	6.13	1.55			
	3	6.33	1.23			
Accuracy	1	0.71	0.23	6.177	<b>0.046</b>	0.22061
	2	0.81	0.27			
	3	0.94	0.11			
Shooting time	1	58.4	27.6	0.187	0.911	0.00669
	2	94.9	77.2			
	3	74.9	52.3			

Note. 1 — novice group, 2 — amateurs, 3 — professionals

Проведенное попарное сравнение с использованием критерия Двасс — Стил — Кричлоу — Флигнер выявило наличие значимых различий между группой 1 (новички) и группой 3 (профессионалы) для показателей: средняя длина кривой ( $W = -4,32$ ,  $p = 0,006$ ); средняя площадь ( $W = -4,72$ ,  $p = 0,002$ ); средний счет ( $W = 3,72$ ,  $p = 0,023$ ); отклонения длины кривой ( $W = -4,42$ ,  $p = 0,005$ ); отклонения площади кривой ( $W = -4,73$ ,  $p = 0,002$ ); точность ( $W = 3,64$ ,  $p = 0,027$ ) (Рисунок 12).

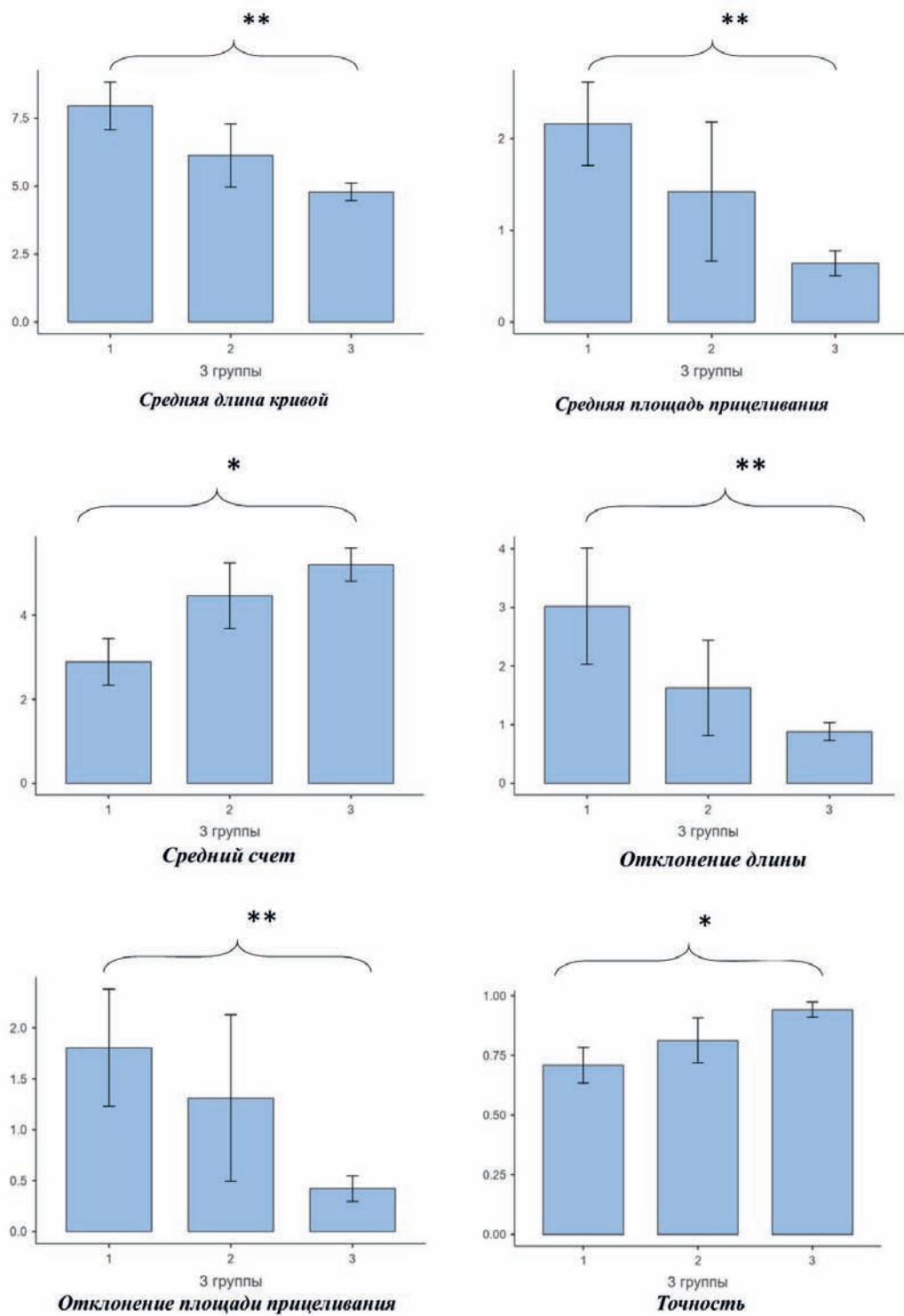


Рисунок 12

Результаты попарного сравнения групп с использованием критерия Двасс — Стил — Кричлоу — Флигнер: группа 1 — новички; группа 2 — любители; группа 3 — профессионалы



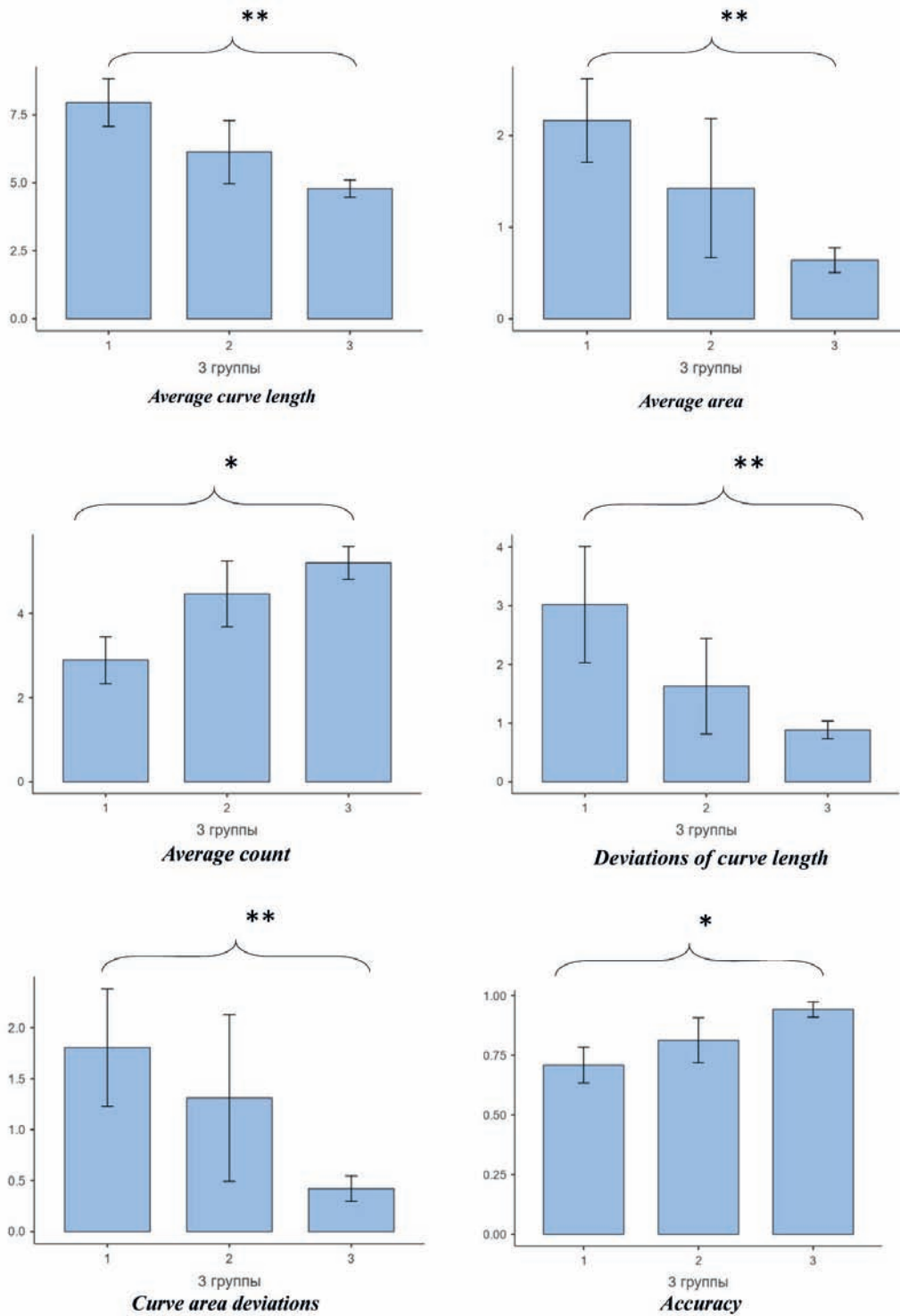


Figure 12

Results of pairwise comparison using the Dwass — Steele — Krichlow — Flieger criterion between group 1 (novices) and group 3 (professionals) for the indicators

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данное исследование носит пилотный характер и направлено на апробацию разработанной технологии виртуальной реальности для тренировки стрельбы в адаптивном биатлоне. Последний отличается тем, что стрельба происходит только из положения лежа с дистанции 10 метров.

Размер выборки в данном исследовании был небольшой ( $n = 15$ ). Вместе с тем работа проведена на членах паралимпийской сборной России по лыжным гонкам и биатлону. Также в исследовании приняли участие дети, регулярно тренирующиеся в адаптивном биатлоне и имеющие 1-й юношеский разряд.

Полученные результаты демонстрируют ряд тенденций.

В первую очередь следует отметить четкую закономерность показателей «средний счет», «точность» в зависимости от уровня мастерства — чем выше уровень мастерства, тем выше счет и точность на уровне статистической значимости. При этом «отклонения счета» не отличается такой закономерностью. Тренерами и самими спортсменами отмечался следующий нюанс тренировки биатлонистов: их не тренируют попадать в десятку, они должны попадать в соответствующую область. Поэтому параметр счета не является для биатлонистов критически значимым. Наибольшее значение имеют параметры, которые связаны с балансом поструральной устойчивости и стабильности удержания винтовки. К примеру, такие параметры должны отражаться в более короткой траектории и площади прицеливания, а также меньших отклонениях данных параметров.

Гуннитиллеке с коллегами (Goonetilleke et al., 2009) также показали, что различия, возникающие при разном уровне опыта, связаны с поструральным балансом и устойчивостью, а не с прицеливанием или когнитивным компонентом задачи. Это согласуется с полученными нами данными. В частности, параметр «среднее значение длины кривой» и связанный с ним параметр «отклонения длины кривой» показали значимые различия между нашими группами. При этом прослеживается четкая закономерность — чем выше уровень мастерства, тем меньше будут значения обоих параметров. Аналогичная тенденция наблюдается для параметров «Средняя площадь кривой» и «Отклонения площади кривой». Это говорит о высокой стабильности пострурального баланса и устойчивости стрельбы.

Значения по параметру «время стрельбы» очень сильно варьировали у всех испытуемых, значимых различий по данному показателю обнаружено не было. В частности, нами выявлено, что профессиональные биатлонисты тратят в среднем на закрытие мишеней около 75, SD = 52 секунд, любители 95, SD = 77 секунд, новички 58, SD = 28 секунд. В некоторых исследованиях проводилось изучение того, сколько времени необходимо для точного прицеливания (Goonetilleke et al., 2009). Авторы показали, что стрелкам-экспертам для прицеливания достаточно примерно 2 секунд. Целесообразно предположить, что на данный параметр оказывает существенное влияние сама ситуация, связанная со стрельбой в условиях виртуальной реальности: непривычность восприятия среды, адаптация под текущие условия, стрельба не из персональной винтовки, а из экспериментальной (по габаритам винтовка полностью идентична, но в профессиональном биатлоне спортсмены используют персональные винтовки, учитывающие анатомию тела).

Наименее показательным в нашем случае был параметр «Время стрельбы», который не коррелировал с эффективностью стрельбы и уровнем мастерства. Так, самое быстрое время показали новички. Следует отметить, что полученные результаты далеки от пиковых показателей, демонстрируемых спортсменами на крупных соревнованиях. Однако следует учитывать, что участникам приходилось работать в непривычных условиях — стрельба в шлеме виртуальной реальности с ограниченным разрешением изображения. Кроме того, результаты тестирования не имели для спортсменов никакого значения. Если рассмотреть время на выстрел в различных категориях, можно предположить, что неопытные стрелки, не обладая правильной техникой обработки спуска, стреляют быстрее, но с меньшей точностью. В то же время юные спортсмены способны значительно повысить свою точность, грамотно управляя спуском. В условиях соревнований это особенно важно: рисковать штрафным кругом ради экономии нескольких секунд было бы неразумно. С повышением квалификации спортсмены могут сократить время, необходимое на выстрел, не жертвуя при этом точностью. В этой борьбе за секунды напряжение возрастает по мере приближения к вершинам мастерства.

## ВЫВОДЫ

В нашей работе мы успешно провели апробацию разработанной технологии виртуальной реальности для тренировки стрельбы в адаптивном биатлоне. Было показано, что разработанная среда виртуальной реальности для тренировки стрельбы в адаптивном биатлоне является адекватным инструментом для диагностики и тренировки уровня стрельбы. Были выявлены наиболее информативные параметры прицеливания и стрельбы: средняя длина кривой прицеливания и ее отклонения, средняя площадь прицеливания и ее отклонения, средний счет и точность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева, О.П. (2022). Технологические инновации в области адаптивной физической культуры. *Современное педагогическое образование*, (2), 114–119.
- Варламов, А.В., Яковлева, Н.В. (2021). Динамика искажений восприятия человеком размеров собственного тела в виртуальной реальности. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Психология и педагогика*, 18(1), 254–270. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2022-19-4-670-688>
- Гордеева, А.В., Кононенко, И.А. (2023). Представления о виртуальном общении и их взаимосвязь с личностными особенностями пользователей. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 46(3), 11–31. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-25>
- Леонов, С.В., Поликанова, И.С., Булаева, Н.И., Клименко, В.А. (2020). Особенности использования виртуальной реальности в спортивной практике. *Национальный психологический журнал*, 1(37), 18–30. <https://doi.org/10.11621/npj.2020.0102>
- Поликанова, И.С., Леонов, С.В., Якушина, А.А., Бугрий, Г.С., Кручинина, А.П. и др. (2022). Разработка технологии виртуальной реальности VR-PACE для диагностики и тренировки уровня мастерства хоккеистов. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, (1), 269–297. <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.12>
- Пономарева, Е.С. (2022). Видеоигры и агрессия: обзор зарубежных исследований. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 45(3), 169–199. <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.03.09>
- Терлеел, В.С., Григорова, В.В. (2024). Как IT технологии трансформируют мир спорта для инвалидов. *Innova*, 10(1), 65–67.
- Якушина, А.А., Булаева, Н.И., Леонов, С.В., Поликанова, И.С., Клименко, В.А. (2024). Использование системы мобильного айтрекинга в спортивной практике. *Российский Психологический Журнал*, 21(1), 34–46. <https://doi.org/10.21702/rpj.2024.1.2>
- Alsaeedi, N., Wloka, D. (2021). Velocity-dependent perception threshold for discrete imperceptible repositioning in a virtual environment during eye blinks. *IEEE Access*, 9, 122147–122165.
- Durbaba, R., Taylor, A., Manu, C.A., Buonajuti, M. (2005). Stretch reflex instability compared in three different human muscles. *Experimental Brain Research*, 163(3), 295–305. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2165-x>
- Finkenzeller, T., Sattlecker, G., Würth, S., Buchecker, M., Hödlmoser, K. et al. (2016). Biathlon shooting as a model from a biomechanical, kinesiological and psychological perspective — a multidisciplinary approach. In: A. Hakkarainen, V. Linnamo, S. Lindinger, (eds.). *Science and Nordic Skiing III*. (pp. 95–102). Jyväskylä: Jyväskylä University Press.
- Goonetilleke, R.S., Hoffmann, E.R., Lau, W.C. (2009). Pistol shooting accuracy as dependent on experience, eyes being opened and available viewing time. *Applied Ergonomics*, 40(3), 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.09.005>
- Laaksonen, M.S., Finkenzeller, T., Holmberg, H.-C., Sattlecker, G. (2018). The influence of physiobiomechanical parameters, technical aspects of shooting, and psychophysiological factors on biathlon performance: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 7(4), 394–404. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.003>
- Lakie, M., Walsh, E.G., Wright, G.W. (1986). Passive mechanical properties of the wrist and physiological tremor. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 49(6), 669–676. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.6.669>
- Marsden, C.D., Meadows, J.C., Hodgson, H.J.F. (1969). Observations on the reflex response to muscle vibration in man and its voluntary control. *Brain*, 92(4), 829–846.
- McAuley, J.H., Britton, T.C., Rothwell, J.C., Findley, L.J., Marsden, C.D. (2000). The timing of primary orthostatic tremor bursts has a task-specific plasticity. *Brain*, 123(2), 254–266. <https://doi.org/10.1093/brain/123.2.254>
- Park, Y.S., Park, J.Y. (2017). Design of sports science-based biathlon training simulator. In: ICCS Proceedings of the Korean Content Society. (pp. 247–248). Nadjju: Dongshin University Publ.
- Pogorelov, D.N., Rylskaya, E.A. (2022). The development and psychometric characteristics of the “Virtual identity of social media users” test. *Psychology in Russia: State of the Art*, 15(4), 101–126. <https://doi.org/10.11621/pir.2022.0407>
- Polikanova, I.S., Sabaev, D.D., Bulaeva, N.I., Panfilova, E.A., Leonov, S.V. et al. (2024). Analysis of eye and head tracking movements during a puck-hitting task in ice hockey players, compared to wrestlers and controls. *Psychology in Russia: State of the Art*, 17(3), 64–81.
- Sattlecker, G., Buchecker, M., Gressenbauer, C., Müller, E., Lindinger, S.J. (2016). Biathlon shooting: Previous analyses and innovative concepts. In: A. Hakkarainen, V. Linnamo, S. Lindinger, (eds.). *Science and Nordic Skiing*. (pp. 103–114). Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House.
- Tjørndal, A. (2024). Technologies in Biathlon: The Role of Equipment and Innovations in Performance Enhancement. *Emerging Joint and Sports Sciences*, 4(18), 1–14.
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, (39), 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.006>
- Wood, G., Wright, D.J., Harris, D., Pal, A., Franklin, Z.C., Vine, S.J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25(1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x>
- Zanevskyy, I., Korostylova, Y., Mykhaylov, V. (2014). Accuracy of SCATT optoelectronic shooting system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(4), 270–275.



## REFERENCES

- Alekseeva, O.P. (2022). Technological innovations in the field of adaptive physical education. *Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie = Modern Pedagogical Education*, (2), 114–119. (In Russ.)
- Alsaeedi, N., Wloka, D. (2021). Velocity-dependent perception threshold for discrete imperceptible repositioning in a virtual environment during eye blinks. *IEEE Access*, 9, 122147 – 122165.
- Durbaba, R., Taylor, A., Manu, C.A., Buonajuti, M. (2005). Stretch reflex instability compared in three different human muscles. *Experimental Brain Research*, 163(3), 295–305. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2165-x>
- Finkenzeller, T., Sattlecker, G., Würth, S., Buchecker, M., Hödlmoser, K. et al. (2016). Biathlon shooting as a model from a biomechanical, kinesiological and psychological perspective — a multidisciplinary approach. In: A. Hakkarainen, V. Linnamo, S. Lindinger, (eds.). *Science and Nordic Skiing III*. (pp. 95–102). Jyväskylä: Jyväskylä University Press.
- Goonetilleke, R.S., Hoffmann, E.R., Lau, W.C. (2009). Pistol shooting accuracy as dependent on experience, eyes being opened and available viewing time. *Applied Ergonomics*, 40(3), 500–508. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.09.005>
- Gordeeva, A.V., Kononenko, I.A. (2023). Structure of virtual communication in the interrelation with personal characteristics of users. *Lomonosov Psychology Journal*, 46(3), 11–31. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-25>
- Laaksonen, M.S., Finkenzeller, T., Holmberg, H.C., Sattlecker, G. (2018). The influence of physiobiomechanical parameters, technical aspects of shooting, and psychophysiological factors on biathlon performance: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 7(4), 394–404. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.003>
- Lakie, M., Walsh, E.G., Wright, G.W. (1986). Passive mechanical properties of the wrist and physiological tremor. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 49(6), 669–676. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.6.669>
- Leonov, S.V., Polikanova, I.S., Bulaeva, N.I., Klimenko, V.A. (2020). Using virtual reality in sports practice. *National Psychological Journal*, 13(1), 18–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/npj.2020.0102>
- Marsden, C.D., Meadows, J.C., Hodgson, H.J.F. (1969). Observations on the reflex response to muscle vibration in man and its voluntary control. *Brain*, 92(4), 829–846.
- McAuley, J.H., Britton, T.C., Rothwell, J.C., Findley, L.J., Marsden, C.D. (2000). The timing of primary orthostatic tremor bursts has a task-specific plasticity. *Brain*, 123(2), 254–266. <https://doi.org/10.1093/brain/123.2.254>
- Park, Y.S., Park, J.Y. (2017). Design of sports science-based biathlon training simulator. In: ICCS Proceedings of the Korean Content Society. (pp. 247–248). Nadju: Dongshin University Publ.
- Pogorelov, D.N., Rylskaya, E.A. (2022). The development and psychometric characteristics of the “Virtual identity of social media users” test. *Psychology in Russia: State of the Art*, 15(4), 101–126. <https://doi.org/10.11621/pir.2022.0407>
- Polikanova, I.S., Leonov, S.V., Yakushina, A.A., Bugriy, G.S., Kruchinina, A.P. et al. (2022). Development of VR-PACE virtual reality technology for diagnosing and training the skill level of hockey players. *Moscow University Psychology Bulletin*, (1), 269–297. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.01.12>
- Polikanova, I.S., Sabaev, D.D., Bulaeva, N.I., Panfilova, E.A., Leonov, S.V. and et al. (2024). Analysis of eye and head tracking movements during a puck-hitting task in ice hockey players, compared to wrestlers and controls. *Psychology in Russia: State of the Art*, 17(3), 64–81.
- Ponomareva, E.S. (2022). Video games and aggression: the major trends in foreign studies. *Moscow University Psychology Bulletin*, (3), 169–199. (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/vsp.2022.03.09>
- Sattlecker, G., Buchecker, M., Gressenbauer, C., Müller, E., Lindinger, S.J. (2016). Biathlon shooting: Previous analyses and innovative concepts. In: A. Hakkarainen, V. Linnamo, S. Lindinger, (eds.). *Science and Nordic Skiing*. (pp. 103–114). Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House.
- Terpelec, V.S., Grigороva, V.V. (2024). How IT technologies are transforming the world of sport for the disabled. *Innova = Innova*, 10(1), 65–67. (In Russ.)
- Tjørndal, A. (2024). Technologies in Biathlon: The Role of Equipment and Innovations in Performance Enhancement. *Emerging Joint and Sports Sciences*, 4(18), 1–14.
- Varlamov, A.V., Yakovleva, N.V. (2022). Distortions of Body Perception during Immersion in Computer Virtual Reality Using Full-Body Tracking. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, 19(4), 670–688. (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2022-19-4-670-688>
- Vignais, N., Kulpa, R., Brault, S., Presse, D., Bideau, B. (2015). Which technology to investigate visual perception in sport: Video vs. virtual reality. *Human Movement Science*, (39), 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.10.006>
- Wood, G., Wright, D.J., Harris, D., Pal, A., Franklin, Z.C., Vine, S.J. (2021). Testing the construct validity of a soccer-specific virtual reality simulator using novice, academy, and professional soccer players. *Virtual Reality*, 25(1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00441-x>
- Yakushina, A.A., Bulaeva, N.I., Leonov, S.V., Polikanova, I.S., Klimenko, V.A. (2024). The use of mobile eye-tracking system in sports practice. *Rossiiskii psikhologicheskii zhurnal = Russian Psychological Journal*, 21(1), 34–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.21702/rpj.2024.1.2>
- Zanevskyy, I., Korostylova, Y., Mykhaylov, V. (2014). Accuracy of SCATT optoelectronic shooting system. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 228(4), 270–275.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

---



**Арсений Аланович  
Гасанов**

Научный сотрудник лаборатории психологии информационной безопасности Федерального научного центра психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация, [quat@bk.ru](mailto:quat@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0000-7081-2491>

**Arseny A. Gasanov**

Researcher, Laboratory of Information Security Psychology, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Studies, Moscow, Russian Federation, [quat@bk.ru](mailto:quat@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0000-7081-2491>

---



**Максим Андреевич  
Одинцов**

Студент кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, [maksim.odintcov@math.msu.ru](mailto:maksim.odintcov@math.msu.ru), <https://orcid.org/0009-0000-6756-0975>

**Maxim A. Odintsov**

Student, Department of Applied Mechanics and Control, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, [maksim.odintcov@math.msu.ru](mailto:maksim.odintcov@math.msu.ru), <https://orcid.org/0009-0000-6756-0975>

---



**Сергей Владимирович  
Леонов**

Кандидат психологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории психологии детства и цифровой социализации Федерального научного центра психологических и междисциплинарных исследований; доцент кафедры методологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, [svleonov@gmail.com](mailto:svleonov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

**Sergey V. Leonov**

Cand. Sci. (Psychology), Senior Researcher, Laboratory of Psychology of Childhood and Digital Socialization, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research; Associate Professor at the Department of Methodology of Psychology, the Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, [svleonov@gmail.com](mailto:svleonov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>

---



**Павел Юрьевич  
Сухочев**

Научный сотрудник лаборатории по математическому обеспечению имитационных динамических систем механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, [ps@moids.ru](mailto:ps@moids.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8004-6011>

**Pavel Yu. Sukhochev**

Researcher at the Laboratory for Mathematical Support of Simulated Dynamic Systems, the Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, [ps@moids.ru](mailto:ps@moids.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8004-6011>

---



**Евгений Алексеевич  
Седогин**

**Evgeny A. Sedogin**

Преподаватель Института среднего профессионального образования Московского государственного университета спорта и туризма, Москва, Российская Федерация, sadyugin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8425-3296>

Lecturer at the Institute of Secondary Professional Education, Moscow State University of Sports and Tourism, Moscow, Russian Federation, sadyugin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8425-3296>



**Маргарита Дмитриевна  
Белусова**

**Margarita Dmitrievna  
Belousova**

Младший научный сотрудник лаборатории Математического обеспечения имитационных динамических систем кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, bmargaretd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3535-5752>

Junior Researcher, Laboratory of Mathematical Support for Simulation Dynamic Systems, Department of Applied Mechanics and Control, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, bmargaretd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3535-5752>



**Ирина Сергеевна  
Поликанова**

**Irina S. Polikanova**

Кандидат психологических наук, заведующая лабораторией конвергентных исследований когнитивных процессов Федерального научного центра психологических и междисциплинарных исследований, Москва, Российская Федерация, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Cand. Sci. (Psychology), Head of the Laboratory of Convergent Studies of Cognitive Processes, Federal Scientific Center for Psychological and Interdisciplinary Research, Moscow, Russian Federation, irinapolikanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>

Поступила 19.02.2025. Получена после доработки  
14.03.2025. Принята в печать 20.03.2025.

Received 19.02.2025. Revised  
14.03.2025. Accepted 20.03.2025.