

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет физической культуры»

Объект авторского права  
УДК 796.015.686:796.92

Дорожко  
Александр Сергеевич

КОНТРОЛЬ ТЕХНИКИ ЛЫЖНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ  
СПОРТСМЕНОВ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ  
УПРАВЛЯЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата педагогических наук**

**по специальности 05.11.19 – методы и средства технического обеспечения  
физической культуры и спорта**

Минск, 2024

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

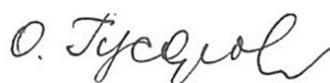
- Научный руководитель: **Васюк Валерий Евстафьевич**, кандидат педагогических наук, доцент, ведущий специалист центра координации научно-методической и инновационной деятельности учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры»
- Официальные оппоненты: **Сотский Николай Борисович**, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры биомеханики учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры»  
**Загревский Валерий Иннокентьевич**, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры теории и методики физического воспитания учреждения образования «Могилевский государственный университет имени А.А. Кулешова»
- Оппонирующая организация: учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

Защита состоится «23» октября 2024 года в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 23.01.01 при учреждении образования «Белорусский государственный университет физической культуры» по адресу: 220020, г. Минск, пр. Победителей, 105, e-mail: nir@sportedu.by, тел. 307-67-45.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры».

Автореферат разослан «20» сентября 2024 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
канд. пед. наук, доцент



О.А. Гусарова

## **Введение**

Совершенствование техники движений лыжников-гонщиков высокого класса является одним из основных способов улучшения спортивных результатов (С. П. Михайловский, 2011; Е. Б. Мякинченко с соавт., 2016; Н. Б. Новикова с соавт., 2017; П. А. Сиделев, 2011; Е. Andersson, 2016; К. Hebert-Losier et al., 2017; O. Ohtonen, 2019; С. Zoppirolli et al., 2020). Эффективное управление технической подготовкой требует регулярного педагогического контроля технической подготовленности лыжников-гонщиков с оценкой показателей информативных биомеханических параметров техники лыжных передвижений (далее – ЛП), сравнением данных в динамике учебно-тренировочного процесса (далее – УТП), разработкой индивидуально-оптимальных моделей техники и прогнозированием динамики технического мастерства (В. Н. Платонов, 2004, 2017; И. Г. Гибадуллин, 2006; А. В. Гурский, 2015; Ю. В. Верхошанский, 1985). В то же время вопрос количественной оценки техники ЛП для управления подготовкой спортсменов относится к числу слабо изученных (В. В. Ермаков, 2017).

Зачастую педагогический контроль технической подготовленности лыжников-гонщиков осуществляется с использованием методов качественного биомеханического анализа [9]. В то же время техника лыжного бега может быть описана математически и подлежит количественной оценке (А. В. Пирог, 1973; Д. Д. Донской, В. М. Зациорский, 1979), что требует использования специального измерительного оборудования и соответствующих процедур. Разрешение данного противоречия видится в разработке методики применения беспроводных информационно-измерительных систем (далее – ИИС) для контроля техники ЛП спортсменов при выполнении контрольных упражнений в специально организованных условиях искусственной управляющей среды (далее – ИУС).

### **Общая характеристика работы**

#### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Диссертационная работа выполнялась в рамках: задания Государственной программы развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2016–2020 годы «Разработать и внедрить методику комплексного анализа биомеханических и физиологических параметров, отражающих состояние специальной физической подготовленности высококвалифицированных биатлонистов» (№ ГР 20181318); плана научно-исследовательской работы Белорусского национального технического университета на 2021–2025 гг. по теме 21-289 «Разработка методик применения мобильных аппаратно-программных средств в научно-методическом обеспечении подготовки спортсменов».

#### **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

*Цель исследования* – теоретико-экспериментальное обоснование использования средств и методов педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды на основе применения беспроводных информационно-измерительных систем.

### *Задачи исследования:*

1. Выявить кинематические и динамические параметры для построения индивидуального биомеханического профиля техники лыжных передвижений спортсменов.

2. Разработать алгоритм оценки кинематических и динамических параметров, формирующих индивидуальный биомеханический профиль техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды.

3. Разработать педагогические требования для проектирования и эксплуатации беспроводных информационно-измерительных систем, предназначенных для количественной оценки техники лыжных передвижений спортсменов.

4. Разработать и экспериментально апробировать методику применения беспроводных информационно-измерительных систем для осуществления педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды.

*Объект исследования* – техническая подготовка в учебно-тренировочном процессе спортсменов-лыжников высокого класса.

*Предмет исследования* – средства и методы педагогического контроля технической подготовленности спортсменов-лыжников высокого класса.

### **Научная новизна**

заключается в том, что впервые:

обоснована целесообразность и перспективность применения беспроводных информационно-измерительных систем для количественной оценки кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений при осуществлении педагогического контроля технической подготовленности лыжников-гонщиков высокого класса;

сформулированы педагогические требования для проектирования и эксплуатации беспроводных информационно-измерительных систем количественной оценки техники лыжных передвижений спортсменов;

определены кинематические и динамические параметры, характеризующие производительность, экономичность и рациональность лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды;

представлен новый подход к сопряженной регистрации и анализу кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений на основе применения беспроводных информационно-измерительных систем и визуализации результатов в виде индивидуального биомеханического профиля спортсмена;

разработан типовой алгоритм оценки кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов при выполнении тестовых заданий в условиях искусственной управляющей среды;

предложен способ определения наличия реципрокной координации при лыжных передвижениях у спортсменов с применением беспроводных информационно-измерительных систем;

выявлены индивидуальные особенности динамики кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов высокого класса;

разработана и экспериментально доказана эффективность методики применения беспроводных информационно-измерительных систем для педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды;

разработан комплекс специально-подготовительных упражнений для коррекции техники лыжных передвижений спортсменов.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Для объективного педагогического контроля за техникой лыжных передвижений необходимо получение количественной информации о кинематических и динамических параметрах, характеризующих технику движений с различных сторон, что позволит выполнить объективную оценку эффективности процесса технической подготовки спортсменов. Целесообразно осуществлять контроль по следующим параметрам: максимальная пропульсивная сила отталкивания по отношению к массе системы «спортсмен-инвентарь», коэффициент реактивности пропульсивной силы, максимальное результирующее внутрицикловое ускорение общего центра масс спортсмена, импульс пропульсивной силы, относительная пропульсивная механическая мощность отталкивания (характеризуют производительность техники); амплитуда поперечных колебаний общего центра масс спортсмена, коэффициент пропульсивной эффективности и коэффициент механической экономичности (характеризуют экономичность техники); гармоничность хода, относительная продолжительность отталкивания, коэффициент симметричности по величине пропульсивной силы между разноименными конечностями, длина цикла (характеризуют рациональность техники).

Оценка перечисленных параметров с представлением данных в виде индивидуального биомеханического профиля отражает индивидуальную технику лыжных передвижений, что является основой для более глубокого познания тренером особенностей решения двигательной задачи конкретным спортсменом.

2. Для обеспечения повторяемости условий получения количественной информации о параметрах, характеризующих техническую подготовленность спортсменов, процесс получения данных необходимо выполнять согласно разработанному алгоритму оценки кинематических и динамических параметров, формирующих индивидуальный биомеханический профиль техники лыжных передвижений в условиях искусственной управляющей среды. Алгоритм состоит из трех основных блоков, объединяющих регистрацию, обработку и анализ информации о контролируемых параметрах в определенную совокупность последовательных операций, что позволяет стандартизировать условия и процесс получения результатов, а также уменьшить влияние различных факторов на получаемый результат, тем самым обеспечивая необходимые условия для осуществления индивидуального контроля за технической подготовленностью спортсмена в рамках долгосрочного учебно-тренировочного процесса.

3. В качестве технических средств педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов необходимо применять беспроводные информационно-измерительные системы, эффективность эксплуатации которых будет выше, если на стадии их проектирования будет обеспечено соответствие возможностей устройств регистрации данных следующим педагогическим требованиям:

обеспечение возможности выполнения спортсменом полного объема техники лыжных ходов;

отсутствие влияния устройств регистрации данных на естественную биомеханическую структуру движений спортсмена;

наличие в измерительных средствах программных модулей, обеспечивающих беспроводную передачу регистрируемых показателей движений спортсмена;

обеспечение возможности экспорта регистрируемой информации в стороннее программное обеспечение для последующей обработки, анализа и формирования базы данных;

обеспечение возможности сопряженной регистрации динамических и кинематических параметров движений спортсмена;

обеспечение возможности эффективной эксплуатации информационно-измерительных систем в различных условиях регистрации данных (лабораторных или полевых);

обеспечение возможности отображения зарегистрированных показателей с однотипной формой нормирования и привязкой данных к определенной шкале рангов.

4. Методика применения беспроводных информационно-измерительных систем для осуществления педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды включает сопряженную регистрацию кинематических и динамических параметров движений с последующей оценкой производительности, экономичности и рациональности техники с использованием разработанных коэффициентов и составлением индивидуального биомеханического профиля, на основании чего осуществляется диагностика эффективности учебно-тренировочного процесса и определяются подходы к дифференциации и индивидуализации технической подготовки спортсменов. Разработанная методика состоит из трех последовательно реализуемых этапов:

организационного, направленного на определение содержания тестовых заданий и формирования мотивационной основы деятельности спортсмена, способствующей повышению эффективности процедуры тестирования;

оценочного, включающего регистрацию, обработку и интерпретацию данных, объективно характеризующих индивидуальную технику лыжных передвижений;

корректировочного, где на основе интерпретации полученных результатов принимаются решения, связанные с совершенствованием процесса технической подготовки спортсмена в конкретном периоде тренировочного цикла. Определение форм и содержания вносимых корректировок необходимо осуществлять на основе индивидуально-дифференцированного подхода, предусматривающего учет

специализации и индивидуальных особенностей спортсменов, что является важным условием эффективного решения задач этапов и периодов подготовки.

### **Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации с отграничением их от соавторов совместных исследований и публикаций**

Соискателем совместно с научным руководителем обоснована актуальность проблемы, определены цель, задачи и методы исследования. Самостоятельно проведены теоретические и экспериментальные исследования, осуществлена математическая обработка полученных данных. Выполнено теоретико-экспериментальное обоснование применения беспроводных информационно-измерительных систем в количественной оценке техники лыжных передвижений спортсменов и сформулированы педагогические требования для проектирования и эксплуатации подобных систем. Создана беспроводная информационно-измерительная система для сопряженной регистрации кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений, а также составлен типовой алгоритм оценки этих параметров с последующим построением индивидуального биомеханического профиля спортсмена. Разработана методика применения беспроводных информационно-измерительных систем для осуществления педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов высокого класса, экспериментально доказана эффективность ее использования в условиях искусственной управляющей среды, разработаны методические рекомендации по внесению дифференцированных и индивидуальных корректировок в учебно-тренировочный процесс на основе получаемых с использованием разработанной методики данных. В представленных публикациях, опубликованных совместно с научным руководителем, проанализирован собранный теоретический и эмпирический материал, сформулированы и описаны выводы и результаты исследования.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международном олимпийском студенческом форуме «Олимпийское движение, студенческий спорт, коммуникации и образование» (Минск, БГУФК, 22 ноября 2018 года); Международной научно-практической конференции «II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов» (Минск, БГУФК, 4–5 апреля 2019 года); III научно-практической конференции «День спортивной информатики», (Москва, ФБГУ ВНИИФК, 3–4 декабря 2019 года); XXV Международном научном конгрессе «Олимпийский спорт и спорт для всех» (Минск, БГУФК, 15–17 октября 2020 года); IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Подготовка спортивного резерва» (Москва, ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта, 1–2 декабря 2020 года); Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные аспекты физкультурно-спортивной деятельности» (с. Бердигестях, ЧГИФКиС, 6–7 июля 2021 года); VII Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности» (Минск, БНТУ, 21 октября 2021 года); II Международном научном конгрессе «Ценности, традиции и новации современного спорта» (Минск, БГУФК, 13–15 октября 2022 года); научно-практической конференции аспирантов,

докторантов и исследователей «Инновационная спортивная наука – платформа будущего» (Минск, БГУФК, 14 марта 2024 года).

Практические результаты исследования подтверждены актами внедрения: № 10/19 от 30.10.2019; № 2/20 от 17.04.2020 и 3/20 от 09.06.2020.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертационного исследования опубликованы 20 работ (11,5 авторского листа), в том числе единолично 11 работ (4,4 авторского листа). Из них – 10 статей в рецензируемых научных журналах и сборниках (4,9 авторского листа), в том числе единолично 4 работы (1,6 авторского листа); 7 статей и 1 тезисы доклада в материалах научных конференций (2,2 авторского листа), в том числе единолично 6 работ (1,7 авторского листа); 1 учебное пособие в соавторстве (3,3 авторского листа) и 1 методические рекомендации единолично (1,1 авторского листа). Получены 2 патента в соавторстве.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа содержит оглавление, перечень сокращений и условных обозначений, введение, общую характеристику работы, 3 главы, заключение, библиографический список, приложения. Полный объем диссертации составляет 153 страницы. Основной текст составляет 99 страниц, из которых 8 страниц занимают 5 таблиц и 12 рисунков. Библиографический список размещен на 28 страницах и включает список использованных источников (286 наименований, из них 138 на иностранных языках), список работ автора (22 наименования). Количество приложений – 6, их общий объем – 26 страниц.

## **Основная часть**

В первой главе «Проблема контроля техники лыжных передвижений спортсменов и способы ее оценки с применением информационно-измерительных систем» представлен обзор научной и методической литературы по проблеме исследования.

Установлено, что результативность в лыжных гонках во многом зависит от уровня технической подготовленности спортсменов (E. Andersson, 2016; Ø. Sandbakk, N. S. Holmberg, 2013; C. Zoppirolli et al., 2020), которая может быть охарактеризована следующими кинематическими и динамическими параметрами техники ЛП (А. В. Гурский, 2015; Е. А. Реуцкая с соавт., 2020; Ø. Gløersen et al., 2018; Н. С. Holmberg et al., 2005; О. Ohtonen, 2019; В. Pellegrini et al., 2018): максимальная пропульсивная сила отталкивания по отношению к массе системы «спортсмен-инвентарь» ( $F_{\text{проп\_макс}}$ , Н/кг), коэффициент реактивности пропульсивной силы ( $KP$ , Н/с×кг), максимальное результирующее внутрицикловое ускорение общего центра масс спортсмена ( $a_{\text{макс}}$ , м/с<sup>2</sup>), импульс пропульсивной силы ( $p_{\text{проп}}$ , Н×с), относительная пропульсивная механическая мощность отталкивания ( $P_{\text{проп}}$ , Вт/кг), амплитуда поперечных колебаний общего центра масс спортсмена ( $A_y$ , мм), коэффициент пропульсивной эффективности ( $e_p$ , %) и коэффициент механической экономичности ( $K_э$ , Вт/кг/м), длина цикла ( $L_{\text{ц}}$ , м), гармоничность хода ( $ГХ$ , м/цикл/с), относительная продолжительность отталкивания ( $T_{\text{от\_отн}}$ , %) и коэффициент симметричности по величине пропульсивной силы между разноименными конечностями ( $K_{\text{симм}}$ , усл. ед.).

Количественная регистрация данных параметров может выполняться с использованием беспроводных ИИС, эффективность применения которых зависит от их соответствия следующим педагогическим требованиям [9]:

обеспечение возможности выполнения спортсменом полного объема техники лыжных ходов;

отсутствие влияния устройств регистрации данных на естественную технику ЛП спортсмена;

наличие в измерительных средствах программных модулей беспроводной передачи данных;

обеспечение возможности экспорта регистрируемой информации в стороннее программное обеспечение;

обеспечение возможности сопряженной регистрации динамических и кинематических параметров движений спортсмена;

обеспечение возможности эксплуатации в различных условиях регистрации данных (лабораторных или полевых);

обеспечение возможности отображения данных с однотипной формой нормирования и привязкой к определенной шкале рангов.

Для обеспечения повторяемости условий выполнения контрольных упражнений в педагогическом контроле следует прибегать к специально организованным условиям ИУС, которые будут стандартными и воспроизводимыми (M. Ainegren, 2013). В качестве ИУС целесообразно использовать устройства-трекеры, работающие по принципу беговой дорожки и адаптированные для передвижения по ним на лыжероллерах, позволяющие спортсменам воспроизводить технику ЛП, схожую с соревновательной (Ø.Sandbakk et al., 2011; C. Zoppirolli et al., 2018).

Во второй главе «Разработка способа оценки кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды» изложены методология, методы, организация исследования, а также предлагаемые подходы к количественной оценке техники ЛП спортсменов.

Для решения поставленных задач в исследовании применялись следующие методы: анализ и обобщение научно-методической литературы, анкетирование, педагогическое тестирование, педагогический эксперимент, тензометрия, «захват движений» (motion capture), методы математической статистики.

На 1-м этапе исследования (сентябрь 2018 г. – сентябрь 2019 г.) определялись объект и предмет исследования, формулировались цель, задачи и рабочая гипотеза, подбирались методы и средства для решения поставленных задач, анализировались данные научно-методической литературы. Было выявлено, что совершенствование техники лыжных ходов рассматривается как один из основных способов повышения результатов лыжников-гонщиков, однако при этом отсутствуют методики педагогического контроля технической подготовленности на основе количественной оценки кинематических и динамических параметров техники ЛП. Авторские исследования обосновали возможность применения инструментальных средств «захвата движений» и беспроводной ИИС в составе лыжного инвентаря, оборудованного тензодатчиками для количественной оценки техники ЛП [1–3; 6, 7; 11–15; 21].

На 2-м этапе (октябрь 2019 г. – апрель 2020 г.) проводилось анкетирование тренеров по лыжным гонкам и биатлону на предмет выяснения педагогических требований к ИИС, используемым для регистрации параметров техники ЛП спортсменов, разрабатывался алгоритм оценки кинематических и динамических параметров техники ЛП спортсменов с построением индивидуального биомеханического профиля (далее – ИБП), разрабатывалась методика применения беспроводных ИИС для осуществления педагогического контроля техники ЛП спортсменов в условиях ИУС и ее апробация в оперативном контроле технической подготовленности [2; 4; 11; 12; 16].

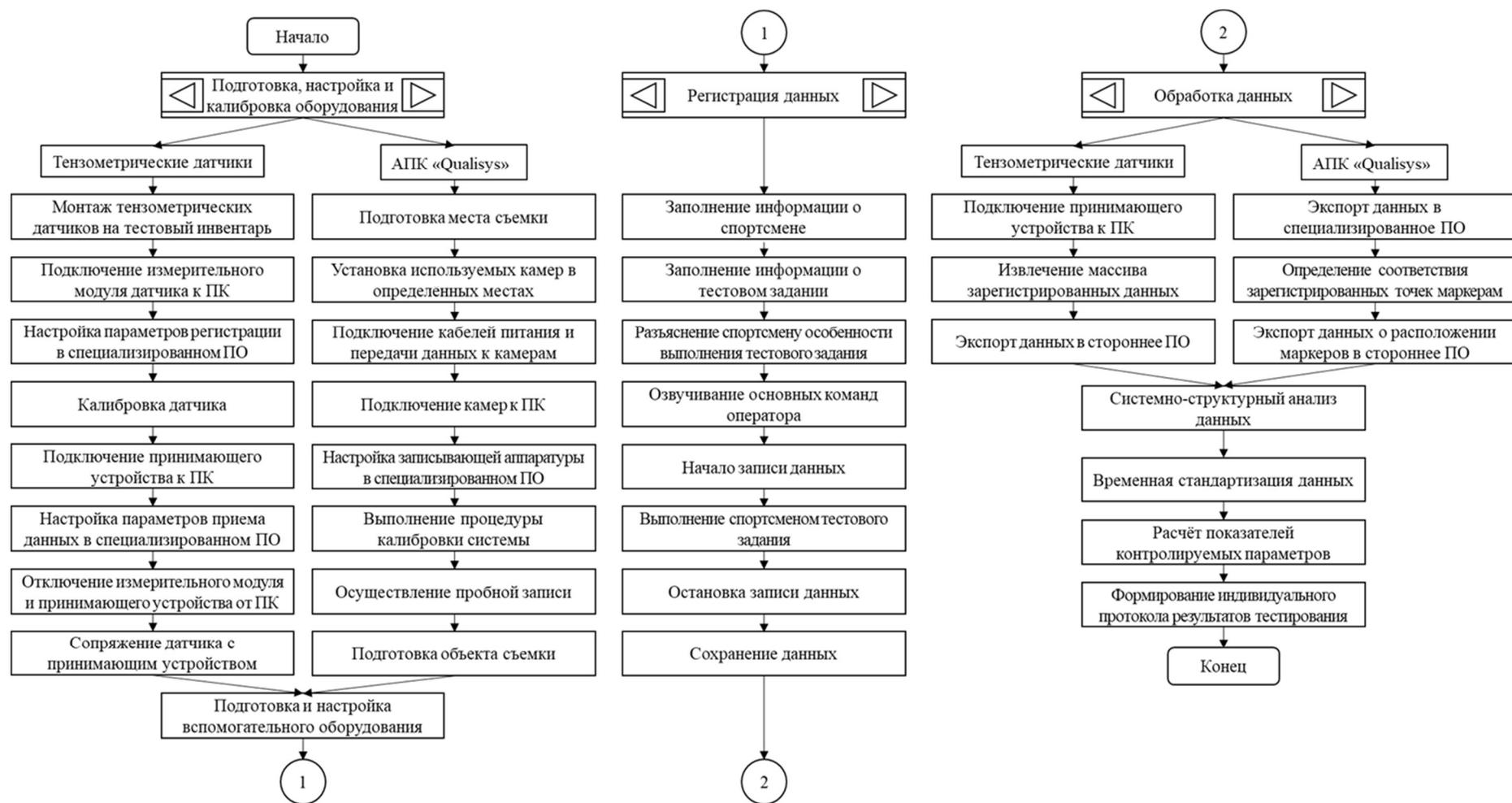
На 3-м этапе исследования (май 2020 г. – октябрь 2021 г.) осуществлялась экспериментальная апробация разработанной методики в этапном контроле технической подготовленности лыжников-гонщиков [5].

На 4-м этапе (ноябрь 2021 г. – февраль 2024 г.) проводились обработка результатов исследования, их анализ, систематизация и обобщение, формулировались выводы, разрабатывались практические рекомендации, завершалось оформление рукописи диссертации.

В третьей главе «*Экспериментальная апробация методики применения беспроводных информационно-измерительных систем для контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды*» излагается содержание разработанной методики, приводятся и обсуждаются результаты выполненных экспериментов, предлагается технология коррекции техники ЛП спортсменов с учетом полученных данных. Ядром методики является объективный педагогический контроль технической подготовленности спортсменов-лыжников на основе количественной оценки кинематических и динамических параметров техники ЛП, выявление индивидуальных особенностей техники движений, выполнение сравнительного анализа динамики данных с оценкой производительности, экономичности и рациональности техники ЛП с использованием разработанных коэффициентов и процедур составления ИБП.

Разработанная методика включает последовательную реализацию трех этапов: организационного, оценочного и корректировочного. На *организационном этапе* составляется программа тестирования в условиях ИУС и формируется мотивационная основа деятельности спортсмена (развитие понимания практического значения получаемых данных; объективизация оценочной деятельности с созданием однотипной шкалы оценок, имеющей нормативный уровень; развитие интереса к познанию собственной деятельности при решении двигательных задач; использование приемов обратной связи с фиксацией промежуточного результата и акцентом на индивидуальные достижения).

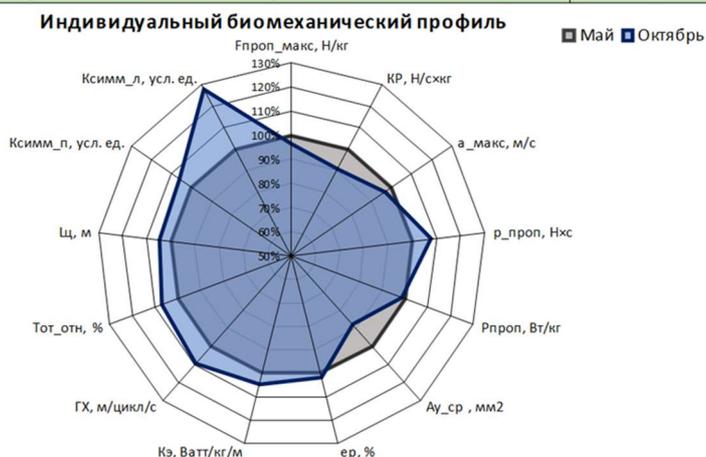
*Оценочный этап* направлен на количественную оценку техники ЛП на основе сопряженной регистрации кинематических и динамических параметров движений спортсменов с применением беспроводных ИИС, математическую обработку данных, а также формирование протокола результатов в виде ИБП. Для обеспечения повторяемости условий получения информации необходимо точное выполнение всех процедур методики по однотипному алгоритму, состоящему из трех блоков, объединяющих регистрацию, обработку и анализ информации о контролируемых параметрах техники ЛП в совокупность последовательных операций (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Алгоритм оценки кинематических и динамических параметров, формирующих индивидуальный биомеханический профиль техники лыжных передвижений спортсмена**

*Корректировочный этап* подразумевает на основе полученной информации внесение изменений в УТП с целью дифференциации и индивидуализации планирования тренировочных нагрузок [5]. При этом результативность использования полученной информации зависит от эффективности коммуникации субъектов в системе «исследователь – тренер – спортсмен», исходя из чего интерпретация результатов должна быть понятна всем субъектам [9]. Для решения этой задачи были разработаны протоколы результатов, которые содержат количественные данные о параметрах техники ЛП с визуализацией ИБП спортсмена, в графической форме отражающего упрощенную цифровую модель техники лыжного хода (рисунок 2). Для построения ИБП требуется два массива данных – «исходный» и «текущий». В качестве «исходного» массива используются значения параметров техники ЛП спортсмена как на более ранних этапах подготовки, так и с иными условиями выполнения контрольного упражнения. Для привязки данных к шкале с однотипной формой нормирования, значения параметров «исходного» массива принимаются за 100 % и представляются в виде правильного многоугольника, координатные точки которого расположены на одинаковых радиусах, идущих от центра. Каждая координатная точка «текущего» массива имеет свою величину, рассчитанную в процентах от «исходного» значения, от чего строится своя шкала измерений [5].

| Протокол   |   |      |              |      |
|--|---|------|--------------|------|
| Спортсмен, квалификация  | Спортсмен №12, МС   |      |              |      |
| Дата и место тестирования  | 06.10.2021 РЦОП по ЗВС "Раубичи", тредбан                 |      |              |      |
| Условия тестирования   | Тест со ступенчато возрастающей нагрузкой (дистанционный) |      |              |      |
| Ход  | Коньковый одновременный одношажный                        |      |              |      |
| Параметры  | Май   |      | Октябрь      |      |
| Макс. пропульсивная сила отталкивания (Fпроп_макс, Н/кг)               | 17,76   | 100% | 17,16        | 97%  |
| Коэффициент реактивности пропульсивной силы (КР, Н/с/кг)               | 9,85  | 100% | 8,92         | 91%  |
| Макс. результ. внутрцикловое ускорение ОЦМ (a_макс, м/с <sup>2</sup> ) | 8,35  | 100% | 8,08         | 97%  |
| Импульс пропульсивной силы (p_проп, Н×с)                               | 327,22  | 100% | 353,25       | 108% |
| Пропульсивная механическая мощность (Pпроп, Ватт/кг)                   | 11,31   | 100% | 11,11        | 98%  |
| Амплитуда поперечных колебаний ОЦМ (Ay_ср, мм)                         | 445,40  | 100% | 507,00       | 88%  |
| Коэффициент пропульсивной эффективности (ер, %)                        | 32,69%  | 100% | 33,35%       | 102% |
| Коэффициент механической экономичности (КЭ, Ватт/кг/м)                 | 6,10  | 100% | 5,81         | 105% |
| Гармоничность хода (ГХ, м/цикл/с)                                      | 10,38   | 100% | 11,41        | 110% |
| Относительная продолжительность отталкивания (Тот_отн, %)              | 75,00%  | 100% | 70,00%       | 107% |
| Длина цикла (Лц, м)  | 5,58  | 100% | 5,85         | 105% |
| Коеф. симметр. от. верхними конечностями (Ксимм_п, усл.ед)             | -0,13   | 100% | -0,13        | 106% |
| Коеф. симметр. от. нижними конечностями (Ксимм_л, усл.ед)              | -0,34   | 100% | 0,15         | 128% |
| <b>Интегральная оценка технического мастерства</b>                     | <b>100,0</b>  |      | <b>103,2</b> |      |



**Рисунок 2. – Пример протокола результатов тестирования с отображением динамики показателей контролируемых параметров движений и визуализацией индивидуального биомеханического профиля техники лыжных передвижений спортсмена**

Для апробации разработанной методики как средства оперативного и этапного контроля был проведен ряд последовательных экспериментов: в эксперименте № 1 (далее – Э1) участвовали спортсменки сборной команды Республики Беларусь по лыжным гонкам ( $n=2$  – МС; 24 и 20 лет); в эксперименте № 2 (далее – Э2) – спортсмены-биатлонисты учреждения «РЦОП по зимним видам спорта “Раубичи” ( $n=6$  – КМС;  $18,5 \pm 0,5$  лет); в эксперименте № 3 (далее – Э3) – спортсмены национальной команды Республики Беларусь по лыжным гонкам ( $n=1$  – МСМК жен.,  $n=2$  – МС, муж.;  $25 \pm 4,6$  лет); в эксперименте № 4 (далее – Э4) – лыжники-гонщики высокого класса ( $n=3$  – МС;  $20,2 \pm 1,8$  лет). Контрольные задания соответствовали стандартным протоколам оценки специальной подготовленности лыжников-гонщиков (А. Л. Захаревич с соавт., 2018; Т. Stöggli et al., 2007) и различались в зависимости от специализации спортсменов. Протокол тестирования № 1 (спринтерский) использовался в Э1 и Э3 и предусматривал выполнение теста со ступенчато возрастающей нагрузкой с продолжительностью каждой ступени 15 секунд и увеличением скорости на 0,25 м/с после каждой ступени. Протокол тестирования № 2 (дистанционный) использовался в Э2 и Э4 и предусматривал выполнение теста со ступенчато возрастающей нагрузкой с продолжительностью ступени в 4 минуты, паузой отдыха после каждой ступени в 40 секунд и увеличением угла наклона беговой дорожки на  $1^\circ$ .

Результаты Э1 (таблица 1) и Э2 (таблица 2) отражают динамику показателей параметров техники ЛП спортсменов, которая характеризует выполняемые приспособительные коррекции при повышении интенсивности. Результаты Э3 (таблица 3) и Э4 (таблица 4) показывают динамику показателей параметров техники ЛП спортсменов в рамках подготовительного периода.

Таблица 1. – Динамика показателей кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов одновременным бесшажным ходом с различной скоростью в условиях ИУС

| Параметры                            | Показатели      |        |             |                 |        |             |
|--------------------------------------|-----------------|--------|-------------|-----------------|--------|-------------|
|                                      | Спортсменка № 1 |        |             | Спортсменка № 2 |        |             |
|                                      | v 80 %          | v max  | Динамика, % | v 80 %          | v max  | Динамика, % |
| $F_{\text{проп макс}}$ , Н/кг        | 22,84           | 23,44  | 3,00        | 31,97           | 26,68  | -17,00      |
| КР, Н/с×кг                           | 45,06           | 59,71  | 33,00       | 51,89           | 81,44  | 57,00       |
| $a_{\text{макс}}$ , м/с <sup>2</sup> | 12,13           | 10,47  | -14,00      | 11,46           | 8,63   | -25,00      |
| $p_{\text{проп}}$ , Н×с              | 317,45          | 302,62 | -5,00       | 586,13          | 293,71 | -50,00      |
| $P_{\text{проп}}$ , Вт/кг            | 15,38           | 21,57  | 40,00       | 23,26           | 23,05  | -1,00       |
| $e_p$ , %                            | 78,33           | 77,09  | -2,00       | 81,01           | 76,44  | -6,00       |
| $K_{\text{Э}}$ , Вт/кг/м             | 3,79            | 5,64   | -33,00      | 5,86            | 7,37   | -20,00      |
| ГХ, м/цикл/с                         | 6,69            | 5,18   | -23,00      | 6,86            | 3,73   | -46,00      |
| $T_{\text{от отн}}$ , %              | 31,00           | 36,00  | -14,00      | 39,00           | 34,00  | 15,00       |
| $L_{\text{ц}}$ , м                   | 5,17            | 4,96   | -4,00       | 4,90            | 4,10   | -16,00      |
| $K_{\text{симм}}$ , усл. ед.         | 0,10            | -0,08  | 1,00        | -0,05           | -0,06  | -1,00       |

*Примечание:* v max – максимальная скорость, достигнутая спортсменкой в тестировании; v 80 % – скорость в 80 % от максимально достигнутой.

Таблица 2. – Динамика показателей кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов коньковым одновременным одношажным ходом с различной интенсивностью в условиях ИУС

| Параметры                            | Показатели    |        |             |               |        |             |               |        |             |               |        |             |               |        |             |               |        |             |
|--------------------------------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|---------------|--------|-------------|
|                                      | Спортсмен № 3 |        |             | Спортсмен № 4 |        |             | Спортсмен № 5 |        |             | Спортсмен № 6 |        |             | Спортсмен № 7 |        |             | Спортсмен № 8 |        |             |
|                                      | АП            | АнП    | Динамика, % |
| $F_{\text{проп\_макс}}$ , Н/кг       | 14,20         | 14,24  | 0,30        | 10,98         | 11,35  | 3,00        | 10,35         | 14,58  | 41,00       | 9,59          | 13,08  | 36,00       | 14,81         | 16,24  | 10,00       | 16,03         | 21,18  | 32,00       |
| КР, Н/с×кг                           | 6,20          | 5,68   | -8,00       | 6,25          | 6,33   | 1,00        | 4,90          | 7,14   | 46,00       | 5,30          | 8,23   | 55,00       | 8,17          | 9,99   | 22,00       | 8,52          | 12,04  | 41,00       |
| $a_{\text{макс}}$ , м/с <sup>2</sup> | 5,64          | 5,70   | 1,00        | 7,04          | 7,56   | 7,00        | 6,57          | 7,07   | 8,00        | 7,15          | 6,39   | -11,00      | 7,95          | 6,94   | -13,00      | 8,57          | 8,35   | -3,00       |
| $p_{\text{проп}}$ , Н×с              | 303,87        | 346,17 | 14,00       | 263,19        | 257,36 | -2,00       | 250,53        | 334,09 | 33,00       | 221,78        | 269,98 | 22,00       | 306,65        | 325,23 | 6,00        | 295,37        | 379,70 | 29,00       |
| $P_{\text{проп}}$ , Вт/кг            | 7,82          | 9,22   | 18,00       | 7,33          | 7,32   | -0,20       | 6,20          | 9,48   | 53,00       | 6,75          | 8,74   | 30,00       | 10,40         | 11,83  | 14,00       | 10,41         | 12,76  | 23,00       |
| $A_{y\_cp}$ , мм                     | 624,44        | 623,39 | 0,20        | 654,67        | 640,41 | 2,00        | 825,31        | 663,18 | 24,00       | 577,44        | 592,18 | -2,00       | 430,26        | 464,51 | -7,00       | 429,00        | 445,40 | -4,00       |
| $e_p$ , %                            | 34,04         | 35,16  | 3,00        | 35,81         | 34,10  | -5,00       | 27,49         | 36,07  | 31,00       | 29,00         | 31,60  | 9,00        | 35,82         | 37,49  | 5,00        | 29,13         | 37,09  | 27,00       |
| Кэ, Вт/кг/м                          | 3,98          | 3,75   | 6,00        | 3,15          | 3,32   | -5,00       | 2,78          | 3,70   | -25,00      | 4,12          | 4,75   | -13,00      | 4,00          | 4,81   | -17,00      | 5,93          | 6,10   | -3,00       |
| ГХ, м/цикл/с                         | 18,32         | 15,87  | -13,00      | 15,79         | 14,73  | -7,00       | 21,16         | 16,90  | -20,00      | 13,17         | 11,54  | -12,00      | 13,58         | 11,48  | -15,00      | 11,41         | 10,38  | -9,00       |
| $T_{\text{от\_отн}}$ , %             | 61,00         | 78,00  | -22,00      | 62,00         | 60,00  | 3,00        | 67,00         | 69,00  | -3,00       | 67,00         | 64,00  | 5,00        | 77,00         | 78,00  | -1,00       | 69,50         | 74,00  | -6,00       |
| $L_{\text{ц}}$ , м                   | 7,41          | 6,90   | -7,00       | 6,88          | 6,65   | -3,00       | 7,97          | 7,12   | -11,00      | 6,29          | 5,88   | -6,00       | 6,38          | 5,87   | -8,00       | 5,85          | 5,58   | -5,00       |
| $K_{\text{симм\_п}}$ , усл. ед.      | 0,11          | 0,12   | -9,00       | 0,22          | 0,20   | 2,00        | 0,17          | 0,14   | 4,00        | 0,27          | 0,02   | 34,00       | -0,04         | 0,10   | -13,00      | -0,14         | -0,13  | 1,00        |
| $K_{\text{симм\_л}}$ , усл. ед.      | -0,31         | 0,06   | 40,00       | -0,20         | -0,04  | 15,00       | -0,05         | -0,08  | -3,00       | -0,09         | 0,07   | 17,00       | 0,21          | 0,08   | 17,00       | -0,20         | -0,36  | -12,00      |

Примечание: АП – степень нагрузки на уровне индивидуального порога аэробного обмена; АнП – степень нагрузки на уровне индивидуального порога анаэробного обмена.

Таблица 3. – Динамика показателей кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов одновременным бесшажным ходом в подготовительном периоде

| Параметры                            | Показатели    |        |             |                |        |             |                  |        |             |
|--------------------------------------|---------------|--------|-------------|----------------|--------|-------------|------------------|--------|-------------|
|                                      | Спортсмен № 9 |        |             | Спортсмен № 10 |        |             | Спортсменка № 11 |        |             |
|                                      | Май           | Август | Динамика, % | Май            | Август | Динамика, % | Май              | Август | Динамика, % |
| $F_{\text{проп макс}}$ , Н/кг        | 12,26         | 29,90  | 144,00      | 8,54           | 17,53  | 105,00      | 18,46            | 9,90   | -46,00      |
| КР, Н/с×кг                           | 30,35         | 101,56 | 235,00      | 27,07          | 59,96  | 122,00      | 57,86            | 33,16  | -43,00      |
| $a_{\text{макс}}$ , м/с <sup>2</sup> | 10,48         | 14,11  | 35,00       | 9,34           | 13,45  | 44,00       | 11,30            | 10,46  | -7,00       |
| $\rho_{\text{проп}}$ , Н×с           | 193,92        | 429,44 | 121,00      | 143,28         | 267,30 | 87,00       | 236,87           | 139,50 | -41,00      |
| $R_{\text{проп}}$ , Вт/кг            | 12,70         | 26,53  | 109,00      | 10,93          | 20,90  | 91,00       | 19,66            | 10,45  | -47,00      |
| $e_p$ , %                            | 76,13         | 75,14  | -1,00       | 70,06          | 60,60  | -14,00      | 59,66            | 57,25  | -4,00       |
| $K_{\Sigma}$ , Вт/кг/м               | 4,07          | 7,47   | -47,00      | 3,25           | 7,66   | -58,00      | 6,99             | 3,34   | 109,00      |
| ГХ, м/цикл/с                         | 3,55          | 3,98   | 12,00       | 3,64           | 3,48   | -4,00       | 5,46             | 4,47   | -18,00      |
| $T_{\text{от отн}}$ , %              | 44,00         | 37,00  | 19,00       | 46,00          | 46,00  | 0,00        | 36,00            | 40,50  | -11,00      |
| $L_{\text{ц}}$ , м                   | 4,11          | 4,35   | 6,00        | 4,16           | 4,06   | -2,00       | 5,22             | 4,73   | -10,00      |
| $K_{\text{симм}}$ , усл. ед.         | -0,11         | -0,05  | 6,00        | 0,54           | 0,13   | 91,00       | -0,72            | -0,70  | 3,00        |

Таблица 4. – Динамика показателей кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений спортсменов коньковым одновременным одношажным ходом в подготовительном периоде

| Параметры                            | Показатели     |         |             |                |         |             |                |         |             |
|--------------------------------------|----------------|---------|-------------|----------------|---------|-------------|----------------|---------|-------------|
|                                      | Спортсмен № 12 |         |             | Спортсмен № 13 |         |             | Спортсмен № 14 |         |             |
|                                      | Май            | Октябрь | Динамика, % | Май            | Октябрь | Динамика, % | Май            | Октябрь | Динамика, % |
| $F_{\text{проп макс}}$ , Н/кг        | 17,76          | 17,16   | -3,00       | 14,54          | 26,47   | 82,00       | 22,07          | 25,71   | 16,00       |
| КР, Н/с×кг                           | 9,85           | 8,92    | -9,00       | 7,41           | 12,07   | 63,00       | 8,76           | 10,80   | 23,00       |
| $a_{\text{макс}}$ , м/с <sup>2</sup> | 8,35           | 8,08    | -3,00       | 6,89           | 7,44    | 8,00        | 7,63           | 7,28    | -5,00       |
| $\rho_{\text{проп}}$ , Н×с           | 327,22         | 353,25  | 8,00        | 282,52         | 503,97  | 78,00       | 485,30         | 497,00  | 2,00        |
| $R_{\text{проп}}$ , Вт/кг            | 11,31          | 11,11   | -2,00       | 10,78          | 19,05   | 77,00       | 16,72          | 17,32   | 4,00        |
| $A_{\text{у ср}}$ , мм               | 445,40         | 507,00  | -12,00      | 668,12         | 673,89  | -1,00       | 539,14         | 622,54  | -13,00      |
| $e_p$ , %                            | 32,69          | 33,35   | 2,00        | 32,26          | 37,20   | 15,00       | 37,65          | 33,90   | -10,00      |
| $K_{\Sigma}$ , Вт/кг/м               | 6,10           | 5,81    | 5,00        | 5,23           | 6,14    | -15,00      | 5,59           | 6,39    | -12,00      |
| ГХ, м/цикл/с                         | 10,38          | 11,41   | 10,00       | 12,67          | 12,46   | -2,00       | 15,05          | 14,96   | -1,00       |
| $T_{\text{от отн}}$ , %              | 75,00          | 70,00   | 7,00        | 67,00          | 68,50   | -2,00       | 76,00          | 70,00   | 9,00        |
| $L_{\text{ц}}$ , м                   | 5,58           | 5,85    | 5,00        | 6,16           | 7,19    | 17,00       | 6,72           | 6,70    | -0,30       |
| $K_{\text{симм п}}$ , усл. ед.       | -0,13          | -0,13   | 6,00        | 0,30           | 0,00    | 43,00       | 0,04           | -0,03   | 8,00        |
| $K_{\text{симм л}}$ , усл. ед.       | -0,34          | 0,15    | 28,00       | -0,16          | -0,10   | 6,00        | -0,08          | -0,06   | 1,00        |

Обобщая результаты, можно заключить, что с использованием разработанной методики становится возможным получение количественной информации о

кинематических и динамических параметрах техники ЛП как при различных условиях выполнения упражнения, так и в динамике УТП. На основе этой информации становится возможной реализация личностно-ориентированного подхода через дифференцированный подбор нагрузок исходя из индивидуальных особенностей спортсменов и с целевой направленностью на совершенствование технической подготовки за счет увеличения результативности отталкиваний, улучшения эффективности и экономичности движений, повышения реципрокной координации и развития приспособительной вариативности техники. При этом тренировочный процесс необходимо строить на принципах:

ведущей деятельности в сотрудничестве «исследователь – тренер – спортсмен»;  
единства диагностики техники ЛП и коррекционной деятельности, направленной на совершенствование технической подготовленности спортсменов;

научности, предполагающей разработку обоснованных рекомендаций по коррекции УТП;

дифференциации и индивидуализации нагрузок с учетом индивидуальных особенностей спортсменов;

реализации дидактического принципа «от простого к сложному»;

деятельностного подхода, предусматривающего стимулирование спортсмена к самоконтролю и самокоррекции техники двигательных действий;

системности и доступности средств, форм и методов корректировочных воздействий с учетом создания условий-стимулов для эффективной деятельности спортсмена.

В методическом плане коррекция техники ЛП должна осуществляться поэтапно с использованием средств и методов, направленных на совершенствование: 1) техники отдельных элементов динамической осанки и управляющих движений; 2) техники динамической осанки и управляющих движений и согласованности их выполнения в структуре ЛП; 3) приспособительной вариативности техники ЛП. В качестве основного средства коррекции могут выступать специально-подготовительные упражнения, упражнения избирательной направленности, упражнения на лыжах (лыжероллерах) [20].

Эффективность УТП может быть оценена при регулярном педагогическом контроле технической подготовленности с применением разработанной методики, а улучшением техники лыжного бега в общем виде будет считаться:

увеличение максимальной пропульсивной силы отталкивания по отношению к массе системы «спортсмен-инвентарь», коэффициента реактивности пропульсивной силы, максимального результирующего внутрициклового ускорения общего центра масс спортсмена, импульса пропульсивной силы, относительной пропульсивной механической мощности отталкивания, коэффициента пропульсивной эффективности, гармоничности хода и длины цикла;

уменьшение амплитуды поперечных колебаний общего центра масс спортсмена, коэффициента механической экономичности, относительной продолжительности отталкивания;

приближение значений коэффициента симметричности по величине пропульсивной силы между разноименными конечностями к нулю [4; 5; 10; 17].

## Заключение

### Основные научные результаты диссертации

1. Анализ научно-методической литературы и анкетирование ведущих тренеров Республики Беларусь и Российской Федерации по лыжным гонкам и биатлону показали, что, несмотря на наличие широкого арсенала средств и методов, применяемых для исследования биомеханики лыжных ходов, отсутствуют технологии количественного контроля техники лыжных передвижений в динамике учебно-тренировочного процесса и использования получаемой информации для управления технической подготовкой спортсменов-лыжников [1; 3; 9]. В связи с этим необходимо при осуществлении педагогического контроля за техникой лыжных передвижений спортсменов получать количественную информацию, характеризующую технику движений с различных сторон, которую целесообразно представлять в виде индивидуального биомеханического профиля, содержащего следующие кинематические и динамические параметры [5]:

максимальная пропульсивная сила отталкивания по отношению к массе системы «спортсмен-инвентарь», коэффициент реактивности пропульсивной силы, максимальное результирующее внутрицикловое ускорение общего центра масс спортсмена, импульс пропульсивной силы, относительная пропульсивная механическая мощность отталкивания (характеризуют производительность техники);

амплитуда поперечных колебаний общего центра масс спортсмена, коэффициент пропульсивной эффективности и коэффициент механической экономичности (характеризуют экономичность техники);

гармоничность хода, относительная продолжительность отталкивания, коэффициент симметричности по величине пропульсивной силы между разноименными конечностями, длина цикла (характеризуют рациональность техники).

Оценка перечисленных параметров с представлением данных в виде индивидуального биомеханического профиля отражает индивидуальную технику лыжных передвижений спортсмена, что является основой для более глубокого познания тренером особенностей решения двигательной задачи конкретным спортсменом и создает условия для более рационального решения задач по организации учебно-тренировочного процесса и контроля за его эффективностью.

2. Для осуществления объективного контроля индивидуального развития технической подготовленности спортсмена в рамках долгосрочного учебно-тренировочного процесса и возможности формирования базы данных необходимо выполнение однотипных процедур регистрации и анализа информации по разработанному алгоритму оценки кинематических и динамических параметров, формирующих индивидуальный биомеханический профиль техники лыжных передвижений спортсменов, который включает три основных блока, объединяющих действия по подготовке оборудования, регистрации данных и их обработки с последующим анализом в совокупность последовательных операций [1; 4; 5]:

блок «Подготовка, настройка и калибровка оборудования» состоит из действий, направленных на сборку и монтаж элементов измерительных систем, подготовку и настройку программного обеспечения, выполнение калибровки

измерительного оборудования, а также, по необходимости, подготовки вспомогательного оборудования;

блок «Регистрация данных» содержит процедуры, выполнение которых осуществляется непосредственно перед началом и во время выполнения спортсменом тестового задания;

блок «Обработка и анализ данных» охватывает математическую обработку зарегистрированных данных с последующей визуализацией полученных результатов в форме индивидуального биомеханического профиля.

3. В основе педагогического контроля за технической подготовленностью лыжников-гонщиков лежит количественная оценка кинематических и динамических параметров техники движений с использованием беспроводных информационно-измерительных систем, позволяющих осуществлять регистрацию параметров техники лыжного хода в воспроизводимых условиях искусственной управляющей среды. Эффективность эксплуатации подобных информационно-измерительных систем в контроле техники лыжных передвижений зависит от соответствия их технических возможностей следующим педагогическим требованиям [9]:

обеспечение возможности выполнения спортсменом полного объема техники лыжных ходов;

отсутствие влияния устройств регистрации данных на естественную биомеханическую структуру движений спортсмена;

наличие в измерительных средствах программных модулей, обеспечивающих беспроводную передачу регистрируемых показателей движений спортсмена;

обеспечение возможности экспорта регистрируемой информации в стороннее программное обеспечение для последующей обработки, анализа и формирования базы данных;

обеспечение возможности сопряженной регистрации динамических и кинематических параметров движений спортсмена;

обеспечение возможности эффективной эксплуатации информационно-измерительных систем в различных условиях регистрации данных (лабораторных или полевых);

обеспечение возможности отображения зарегистрированных показателей с однотипной формой нормирования и привязкой данных к определенной шкале рангов.

4. Методика применения беспроводных информационно-измерительных систем для осуществления педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды включает сопряженную регистрацию кинематических и динамических параметров движений с последующей оценкой производительности, экономичности и рациональности техники с использованием разработанных коэффициентов и процедур составления индивидуального биомеханического профиля, на основании чего осуществляется диагностика эффективности учебно-тренировочного процесса по признаку технической подготовленности спортсменов и определяются подходы к дифференциации и индивидуализации технической подготовки. Разработанная методика состоит из трех последовательно реализуемых этапов – организационного, оценочного и корректировочного.

На организационном этапе составляется программа тестирования, предусматривающая передвижение спортсмена на лыжероллерах в специально организованных условиях искусственной управляющей среды, которые будут стандартными и воспроизводимыми, а также обеспечивающими максимальное соответствие параметров биомеханической структуры выполняемого упражнения основным параметрам соревновательного упражнения. Кроме того, данный этап предполагает формирование мотивационной основы деятельности спортсмена при выполнении тестирования.

На оценочном этапе осуществляется сопряженная регистрация кинематических и динамических параметров движений спортсмена, объективно характеризующих индивидуальную технику лыжных передвижений, математическая и статистическая обработка полученной информации, интерпретация и предоставление полученных результатов. Регистрацию кинематических параметров следует выполнять с применением беспроводной системы «захвата движений» [15; 18]. Для регистрации динамических параметров лыжных передвижений необходимо использовать беспроводную систему в составе лыжных палок и лыжероллеров, оборудованных тензометрическими датчиками, позволяющими фиксировать и передавать информацию о деформации спортивного инвентаря [1; 2; 15]. Полученные результаты следует предоставлять в виде индивидуального биомеханического профиля спортсмена, который в понятной графической форме отражает упрощенную цифровую модель техники движений, что способствует рациональной коммуникации субъектов внутри системы «исследователь – тренер – спортсмен» [5].

Корректировочный этап подразумевает принятие на основе полученной информации управленческих решений о корректировке учебно-тренировочного процесса, целью которой являются совершенствование технической подготовки спортсмена и успешное решение задач по улучшению реципрокной координации верхних и нижних конечностей с акцентом на увеличение результативности отталкивания в лыжных локомоциях [10; 21], повышению эффективности и экономичности движений и совершенствованию приспособительной вариативности техники, на что будет указывать следующая динамика показателей [4; 5; 10; 17]:

увеличение значений параметров «максимальная пропульсивная сила отталкивания по отношению к массе системы «спортсмен-инвентарь», «коэффициент реактивности пропульсивной силы», «максимальное внутрицикловое ускорение общего центра масс спортсмена», «импульс пропульсивной силы», «относительная пропульсивная механическая мощность отталкивания», «коэффициент пропульсивной эффективности», «гармоничность хода» и «длина цикла»;

снижение значений параметров «амплитуда поперечных колебаний общего центра масс спортсмена», «коэффициент механической экономичности», «относительная продолжительность отталкивания»;

приближение получаемых значений коэффициента симметричности по величине пропульсивной силы между разноименными конечностями к нулю.

Определение форм и содержания вносимых корректировок необходимо осуществлять на основе индивидуально-дифференцированного подхода,

предусматривающего учет специализации и индивидуальных особенностей спортсменов, что является важным условием эффективного решения задач этапов и периодов подготовки.

Проведение регулярного педагогического контроля техники лыжных передвижений с использованием разработанной методики применения беспроводных информационно-измерительных систем предоставляет возможность на основе получаемой информации организовать управляемый, объективно-аргументированный и личностно-ориентированный процесс технической подготовки спортсменов-лыжников с определением дифференцированного содержания компонентов по овладению спортсменом индивидуально-оптимальной техникой выполнения соревновательного упражнения.

### **Рекомендации по практическому применению результатов**

Методика применения беспроводных информационно-измерительных систем для осуществления педагогического контроля техники лыжных передвижений в условиях искусственной управляющей среды может использоваться в оперативном и этапном контроле технической подготовленности лыжников-гонщиков высокого класса.

При оперативном контроле техники лыжных передвижений следует обращать внимание на динамику показателей с различной степенью воздействия внешних и внутренних факторов. Эта информация отражает индивидуальный характер приспособительных коррекций техники движений. Результаты, полученные с применением разработанной методики в этапном контроле, позволяют выполнить анализ динамики технического мастерства под влиянием долгосрочного учебно-тренировочного процесса. При разработке программы этапного контроля в годичном цикле следует предусмотреть не менее трех тестирований: в начале общеподготовительного этапа – для определения исходного уровня технической подготовленности и планирования подготовки, в конце общеподготовительного этапа и в конце специально-подготовительного этапа – для определения динамики технической подготовленности спортсменов и внесения необходимых корректировок в учебно-тренировочный процесс.

При корректировке учебно-тренировочного процесса следует руководствоваться известными закономерностями повышения спортивных возможностей лыжников-гонщиков, учитывать их специализацию и индивидуальные особенности, задачи этапа и периода подготовки. Совершенствование техники движений следует выполнять сопряженно с развитием силовых качеств в соответствии с требованиями нового варианта техники. В первую очередь целесообразно использовать средства и методы, направленные на дифференцированную коррекцию техники элементов динамической осанки и управляющих движений, а затем – направленные на согласованность их выполнения в общей структуре лыжных локомоций. После закрепления нового варианта техники необходимо использовать средства и методы тренировки, способствующие совершенствованию приспособительной вариативности техники лыжных ходов.

## Список публикаций соискателя ученой степени

Статьи в журналах и сборниках, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационного исследования

1. Васюк, В. Е. Оценка генерации продвигающих сил при взаимодействии спортсмена с опорой в лыжных локомоциях / В. Е. Васюк, **А. С. Дорожко** // Мир спорта. – 2019. – № 3(76). – С. 91–98.
2. Дорожко, А. С. К анализу индивидуальных закономерностей биомеханической структуры лыжных передвижений спортсменов / А. С. Дорожко // Прикладная спортивная наука. – 2020. – № 1(11). – С. 5–11.
3. Дорожко, А. С. Влияние уклона трассы на силу и мощность отталкивания лыжников-гонщиков при передвижениях одновременным одношажным коньковым стилем / А. С. Дорожко // Мир спорта. – 2021. – № 1(82). – С. 26–33.
4. Дорожко, А. С. К проблеме оценки экономичности бега на лыжах / А. С. Дорожко, В. Е. Васюк // Мир спорта. – 2022. – № 3(88) – С. 27–31.
5. Дорожко, А. С. Индивидуальный биомеханический профиль как «зеркало» технической подготовленности лыжников-гонщиков / А. С. Дорожко // Мир спорта. – 2022. – № 3(88). – С. 41–46.

Статьи в научных журналах и сборниках

6. Vassiouk, V. E. Testing of speed-strength readiness of ski athletes using intelligent sensory-based systems / V. E. Vassiouk, **A. S. Darozhka**, A. V. Minchenya // Sporto mokslas. – 2019. – Vol. 2, iss. 96. – P. 46–56.
7. Дорожко, А. С. Методика оценки биомеханических показателей техники движений спортсменов в лыжных локомоциях с использованием интеллектуальных сенсорных систем / А. С. Дорожко // «НИРС-2019» сб. науч. работ студентов Республики Беларусь / редкол. : И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2020. – С. 89–92.
8. Васюк, В. Е. Спортивная инженерия: от подготовки специалистов до создания интеллектуальных систем / В. Е. Васюк, В. П. Сущенко, **А. С. Дорожко** // Физическое воспитание и студенческий спорт. – 2024. – № 3(1). – С. 56–63.
9. Дорожко, А. С. Педагогические требования к информационно-измерительным системам количественной оценки техники передвижения на лыжах / А. С. Дорожко, В. Е. Васюк // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2024. – № 1(19). – С. 272–278.
10. Васильева, В. С. Управление нагрузкой скоростно-силовой направленности в тренировках лыжников-гонщиков на основе применения инструментальных средств / В. С. Васильева, **А. С. Дорожко**, Т. В. Карасева // Теория и практика физической культуры и спорта. – 2024. – № 3(1029). – С. 9–12.

11. Дорожко, А. С. Интеллектуальные сенсорные системы в оценке скоростно-силовой подготовленности лыжников-гонщиков / А. С. Дорожко // Олимпийское движение, студенческий спорт коммуникаций и образование : материалы Междунар. олимп. студ. форума, Минск, 22 ноября 2018 г. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол.: Т. А. Морозевич-Шилюк (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – С. 61–62.

12. Дорожко, А. С. Оценка эффективности лыжных передвижений спортсменов с использованием методики мобильной тензодинамографии / А. С. Дорожко // II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 апр. 2019 : в 4 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилюк (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 108–112.

13. Дорожко, А. С. Интеллектуальные датчики в оценке скоростно-силовой подготовленности биатлонистов при лыжных передвижениях свободным стилем / А. С. Дорожко // День спортивной информатики : сб. материалов III Науч.-практ. конф. (Всерос. с междунар. участием), Москва, 3–4 декабря 2019 г. / ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта ; редкол. : Е. А. Тимме, С. Г. Руднев. – М., 2019. – С. 65–72.

14. Дорожко, А. С. Оценка техники лыжных передвижений спортсменов по параметрам прилагаемых усилий при взаимодействии с опорой / А. С. Дорожко // Подготовка спортивного резерва : сб. материалов IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием по спортивной науке, Москва, 1–2 декабря 2020 г. / ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта. – М., 2020. – С. 140–146.

15. Дорожко, А. С. «Motion capture» и беспроводная тензометрия в оценке техник лыжных передвижений спортсменов / А. С. Дорожко, Д. И. Гусейнов // Инновационные аспекты физкультурно-спортивной деятельности : сб. материалов и докладов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, с. Бердигестях, 6–7 июля 2021 года / Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта ; редкол. : И. И. Готовцев (гл. ред.) [и др.]. – Якутск : Медиа-холдинг «Якутия», 2021. – С. 158–161.

16. Дорожко, А. С. Контроль техники лыжных локомоций при сопряженном использовании методов поверхностной электромиографии и беспроводной тензометрии / А. С. Дорожко // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : сб. материалов VII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21 октября 2021 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол. : И. В. Бельский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 35–39.

17. Дорожко, А. С. Оценка двигательной асимметрии лыжников-гонщиков с использованием средств тензометрии / А. С. Дорожко, Ч. Чжентин // Ценности, традиции и новации современного спорта : материалы II Междунар. науч. конгр., Минск, 13–15 окт. 2022 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилюк (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Ч. 1. – С. 142–147.

18. Дорожко, А. С. Методика определения пропульсивных сил в «пассивных» фазах цикла конькового одновременного одношажного хода / А. С. Дорожко // Ценности, традиции и новации современного спорта : материалы II Междунар. науч. конгр., Минск, 13–15 окт. 2022 г. : в 3 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилюк (зам. гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУФК, 2022. – Ч. 1. – С. 147–154.

#### Учебные пособия и методические рекомендации

19. Быков, Д. Ю. Цифровые технологии в оценке и повышении специальной подготовленности квалифицированных биатлонистов : учеб. пособие / Д. Ю. Быков, Н. К. Галай, В. В. Бакаев, В. С. Васильева, В. Е. Васюк, Д. А. Лукашевич, **А. С. Дорожко**, Д. И. Гусейнов ; под ред. В. Е. Васюка. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 80 с.

20. Дорожко, А. С. Совершенствование элементов динамической осанки и координации движений в технической подготовке лыжников-гонщиков : метод. рекомендации / А. С. Дорожко. – Минск : БГУФК, 2024. – 29 с.

#### Патенты

20. Способ повышения скоростно-силовой выносливости спортсменов и система для его осуществления : пат. ВУ 23996 / Д. А. Лукашевич, В. Е. Васюк, Д. И. Гусейнов, **А. С. Дорожко**. – Опубл. 30.04.2023.

21. Способ определения наличия реципрокной координации у спортсмена при лыжных передвижениях : пат ВУ 24157 / В. Е. Васюк, Д. И. Гусейнов, **А. С. Дорожко**. – Опубл. 30.04.2023.

## Рэзюмэ

Дарожка Аляксандр Сяргеевіч

### КАНТРОЛЬ ТЭХНІКІ ЛЫЖНЫХ ПЕРАМЯШЧЭННЯЎ СПАРТСМЕНАЎ ВА ЁМОВАХ ШТУЧНАГА КІРАВальНАГА АСЯРОДДЗЯ З ВЫКАРЫСТАННЕМ БЕСПРАВОДНЫХ ІНФАРМАЦЫЙНА-ВЫМЯРАЛЬНЫХ СІСТЭМ

**Ключавыя словы:** лыжныя гонкі, тэхнічная падрыхтаванасць, педагогічны кантроль, тэхніка лыжных хадоў, тэхнічная падрыхтоўка, тензаметрыя, захоп рухаў, інфармацыйна-вымяральныя сістэмы.

**Мэта даследавання:** тэарэтыка-эксперыментальнае абгрунтаванне выкарыстання сродкаў і метадаў педагогічнага кантролю тэхнікі лыжных перамяшчэнняў спартсменаў ва ўмовах штучнага кіруючага асяроддзя на аснове прымянення бесправадных інфармацыйна-вымяральных сістэм.

**Метады даследавання:** аналіз і абагульненне навукова-метадычнай літаратуры; анкетаванне; педагогічнае тэсціраванне; педагогічны эксперымент; тэнзаметрыя; захоп рухаў; метады матэматычнай статыстыкі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** абгрунтавана мэтазгоднасць прымянення ў кантролі тэхнічнай падрыхтаванасці лыжнікаў-гоншчыкаў інструментальных сродкаў ацэнкі тэхнікі лыжных рухаў; сфармуляваны педагогічныя патрабаванні для праектавання і эксплуатацыі бесправадных інфармацыйна-вымяральных сістэм колькаснай ацэнкі тэхнікі лыжных рухаў; вызначаны кінематычныя і дынамічныя параметры, якія характарызуюць прадукцыйнасць, эканамічнасць і рацыянальнасць лыжных рухаў ва ўмовах штучнай кіруючай асяроддзя; прадстаўлены падыход да спалучанай рэгістрацыі і аналізу кінематычных і дынамічных параметраў тэхнікі лыжных рухаў; распрацаваны алгарытм ацэнкі кінематычных і дынамічных параметраў тэхнікі лыжных рухаў; прапанаваны спосаб вызначэння наяўнасці рецыпрокнай каардынацыі пры лыжных рухах ў спартсменаў; выяўлены індывідуальныя асаблівасці дынамікі кінематычных і дынамічных параметраў тэхнікі лыжных рухаў лыжнікаў-гоншчыкаў высокага класа; распрацавана і эксперыментальна даказана эфектыўнасць метадыкі прымянення бесправадных інфармацыйна-вымяральных сістэм для кантролю тэхнікі лыжных рухаў спартсменаў ва ўмовах штучнага кіруючага асяроддзя; распрацаваны комплекс мерапрыемстваў і практыкаванняў для педагогічнай карэкцыі тэхнікі лыжных рухаў.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваная метадыка выкарыстоўваецца ў педагогічным кантролі тэхнічнай падрыхтаванасці спартсменаў нацыянальнай каманды Рэспублікі Беларусь па лыжных гонках і спартсменаў установы РЦАП па ЗВС “Раўбічы”.

**Вобласць прымянення:** вучэбна-трэніровачны працэс у спецыялізаваных навучальна-спартыўных установах.

## Резюме

Дорожко Александр Сергеевич

### **КОНТРОЛЬ ТЕХНИКИ ЛЫЖНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ СПОРТСМЕНОВ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Ключевые слова:** лыжные гонки, техническая подготовленность, педагогический контроль, техника лыжных ходов, техническая подготовка, тензометрия, захват движений, информационно-измерительные системы.

**Цель исследования:** теоретико-экспериментальное обоснование использования средств и методов педагогического контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды на основе применения беспроводных информационно-измерительных систем.

**Методы исследования:** анализ и обобщение научно-методической литературы; анкетирование; педагогическое тестирование; педагогический эксперимент; тензометрия; захват движений; методы математической статистики.

**Полученные результаты и их новизна:** обоснована целесообразность применения в контроле технической подготовленности лыжников-гонщиков инструментальных средств оценки техники лыжных передвижений; сформулированы педагогические требования для проектирования и эксплуатации беспроводных информационно-измерительных систем количественной оценки техники лыжных передвижений; определены кинематические и динамические параметры, характеризующие производительность, экономичность и рациональность лыжных передвижений в условиях искусственной управляющей среды; представлен подход к сопряженной регистрации и анализу кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений; разработан алгоритм оценки кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений; предложен способ определения наличия реципрокной координации при лыжных передвижениях у спортсменов; выявлены индивидуальные особенности динамики кинематических и динамических параметров техники лыжных передвижений лыжников-гонщиков высокого класса; разработана и экспериментально доказана эффективность методики применения беспроводных информационно-измерительных систем для контроля техники лыжных передвижений спортсменов в условиях искусственной управляющей среды; разработан комплекс мероприятий и упражнений для педагогической коррекции техники лыжных передвижений.

**Степень использования:** разработанная методика используется при педагогическом контроле технической подготовленности спортсменов национальной команды Республики Беларусь по лыжным гонкам и спортсменов учреждения РЦОП по ЗВС «Раубичи».

**Область применения:** учебно-тренировочный процесс в специализированных учебно-спортивных учреждениях.

## Summary

Darozhka Aliaksandr Sergeevich

### CONTROL OF THE TECHNIQUE OF CROSS-COUNTRY SKIING MOVEMENTS OF ATHLETES IN THE CONDITIONS OF AN ARTIFICIAL CONTROL ENVIRONMENT USING WIRELESS INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

**Keywords:** cross-country skiing, technical readiness, pedagogical control, cross-country skiing technique, technical training, strain gauge, motion capture, information-measuring systems.

**The purpose of the study:** theoretical and experimental substantiation of the use of means and methods for pedagogical control of the cross-country skiing technique of athletes in an artificial control environment based on the use of wireless information-measuring systems.

**Research methods:** analysis and generalization of scientific and methodological literature; questionnaire; pedagogical testing; pedagogical experiment; tensometry; motion capture; methods of mathematical statistics.

**Obtained results and their novelty:** the expediency of using tools for evaluating cross-country skiing technique in the control of the technical readiness of cross-country skiers is substantiated; pedagogical requirements for the design and operation of wireless information and measurement systems for quantifying cross-country skiing technique are formulated; kinematic and dynamic parameters characterizing the performance, efficiency and rationality of cross-country skiing technique in an artificial control environment are determined; an approach to the conjugate registration and analysis of kinematic and dynamic parameters of cross-country skiing technique is presented; an algorithm for evaluating kinematic and dynamic parameters of cross-country skiing technique is developed; a method for determining the presence of reciprocal coordination during cross-country skiing locomotions of athletes is proposed; individual characteristics of the dynamics of kinematic and dynamic parameters of cross-country skiing technique of high-class cross-country skiers are revealed; the effectiveness of the methodology for using wireless information and measurement systems to control cross-country skiing technique of athletes in an artificial control environment has been developed and experimentally proven; a set of measures and exercises for pedagogical correction of ski movement techniques has been developed.

**Application level:** the development method is used in the pedagogical control of the technical readiness of athletes of the national team of the Republic of Belarus in cross-country skiing and athletes of the institution Republican Olympic Training Center for Winter Sports "Raubichi".

**Application area:** education and training process in specialized sports-educational institutions.



Подписано в печать 18.09.2024. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 1,57. Уч.-изд. л. 1,57. Тираж 60 экз. Заказ 43.

Отпечатано с готового оригинал-макета в редакционно-издательском отделе  
учреждения образования  
«Белорусский государственный университет физической культуры».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/153 от 24.01.2014.  
Пр. Победителей, 105, 220020, Минск.