

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет физической культуры»

Объект авторского права  
УДК 796.015.686

Лукашевич  
Дмитрий Анатольевич

**КОНТРОЛЬ СКОРОСТНО-СИЛОВОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ  
ГРЕБЦОВ-КАНОИСТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ  
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

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

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

Минск, 2022

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель: **Васюк Валерий Евстафьевич**, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой спортивной инженерии Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Сотский Николай Борисович**, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой биомеханики учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры»  
**Лавшук Дмитрий Алексеевич**, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры теории и методики физического воспитания учреждения образования «Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова»

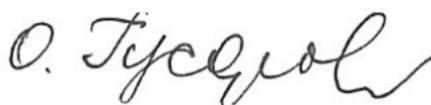
Оппонирующая организация: учреждение образования «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина»

Защита состоится «16» ноября 2022 года в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций К 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 «14» октября 2022 г.

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



О. А. Гусарова

## Введение

Результативность соревновательной деятельности в гребле на каноэ в равной степени определяется высоким уровнем физических кондиций и техническим мастерством спортсмена. Эффективность решения двигательной задачи зависит от системности выполняемых движений в совокупной структуре двигательной деятельности гребца. Одним из факторов системности движений выступает стиль гребли, который является отражением индивидуальности спортсмена: антропометрии, уровня развития силовых и скоростно-силовых качеств, выносливости, гибкости, координации и других особенностей (С. L. López, J. R. Serna, 2011; P. Lundström, J. S. Borgen, D. McKenzie, 2019). Особый интерес у специалистов вызывает изучение динамических и физиологических характеристик движений в гребле на каноэ и их взаимосвязей, при этом внимание многих из них в основном сосредоточено на гребных эргометрах, которые позволяют создать контролируемую среду (J. Baker, 2012; D. Oranova et al., 2018; R. W. Nickl, M. M. Ankarali, N. J. Cowan, 2019). В то же время большой интерес вызывает поиск средств и методов для определения данных показателей в естественных условиях гребли на каноэ, однако дать исчерпывающие ответы на эти вопросы не позволяет ограниченное количество исследований и технологические недостатки тех методов, описание которых приводится в литературе (С. В. Верлин, Г. Н. Семаева, И. Н. Маслова, 2014; M. Li, 2017; P. Lundström, J. S. Borgen, D. McKenzie, 2019).

Эффективность движений гребца-каноиста может быть оценена различными методами, начиная с простого измерения времени преодоления дистанции, и заканчивая трудоемкими расчетами большого количества биомеханических параметров. Такие переменные, как скорость лодки на отрезке дистанции и темп, являются индикаторами производительности спортсмена и могут использоваться как достаточно простой метод для сравнения выступлений с конкурентами, а также с собственными результатами, однако эти переменные не позволяют установить причинно-следственные связи достижения высокой полезной мощности (производительности) движений и понять, за счет чего спортсмен достигает своих результатов (J. Baker, 1998; V. Bonaiuto et al., 2020). Это обуславливает появление исследований, направленных на комплексный биомеханический контроль двигательных действий гребца-каноиста, в котором учитываются объективные данные, всесторонне отражающие производительность и эффективность движений по кинематическим, динамическим, энергетическим и физиологическим характеристикам (F. Colloud et al., 2015; M. Li, 2017).

Перспективным направлением в решении педагогических задач, связанных с контролем скоростно-силовой подготовленности спортсменов при работе на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли, является использование мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью, позволяющих получать объективную оценку состояния различных сторон подготовленности, определять эффективность переноса тренировочного эффекта на соревновательную деятельность и осуществлять оперативное управление тренировочным процессом в режиме реального времени.

## Общая характеристика работы

### Связь работы с научными программами (проектами) и темами

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательских госбюджетных тем:

1. Грант Министерства образования для аспирантов на 2019 год по теме «Оценка мощности движений спортсменов-ребцов в циклических локомоциях с использованием интеллектуальных сенсорных систем» (№ ГР 20191235).

2. Грант Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «БРФФИ-Наука М» на 2019–2021 годы по теме «Модельно-целевые критерии комплексного биомеханического анализа технической подготовленности высококвалифицированных спортсменов» (№ ГР 20191913, № Г19М-020).

3. Задание Государственной программы развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2016–2020 годы «Разработать методику оценки компонентов координационных способностей спортсменов на основе анализа биоэлектрической активности мышц в движениях со сложной двигательной структурой» (№ ГР 20191858).

4. Задание Государственной программы «Физическая культура и спорт» на 2021–2025 годы «Разработать автоматизированную методику биомеханического контроля и коррекции технической подготовленности высококвалифицированных гребцов на байдарках и каноэ на этапах годичного тренировочного цикла» (№ ГР 20201695).

### Цель и задачи исследования

*Цель исследования* – теоретико-экспериментальное обоснование контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов на основе применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью.

*Задачи исследования:*

1. Оценить современные возможности и проблемы объективной комплексной регистрации и контроля ключевых биомеханических и физиологических параметров гребка в локомоциях на каноэ.

2. Определить наиболее информативные биомеханические и физиологические параметры движений, отражающие уровень скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов в заданиях, соответствующих структуре соревновательного упражнения.

3. Разработать и экспериментально апробировать методику оперативного педагогического контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов на основе применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью.

**Научная новизна** заключается в том, что впервые:

обоснована методика применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью для оперативного контроля скоростно-силовой подготовленности спортсменов на основе синхронного измерения ключевых биомеханических и физиологических параметров движений в упражнениях на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли;

разработан подход для оценки рациональности техники гребных локомоций на основе анализа биоэлектрической активности мышц, вносящих основной вклад

в образование движущих сил, с учетом соответствия движений гребца индивидуальному биомеханическому эталону;

с использованием разработанных интеллектуальных датчиков определены биомеханические параметры, характеризующие производительность и эффективность движений гребцов-каноистов в естественных условиях гребли;

разработаны алгоритмы автоматизированного анализа биомеханических параметров, характеризующих скоростно-силовую подготовленность спортсменов при выполнении заданий на гребных эргометрах и при взаимодействии с веслом в естественных условиях гребли;

сформулированы педагогические требования к проектированию и применению различных по назначению мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в оценке и контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов.

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

1. Использование современных мобильных (беспроводных) аппаратно-программных средств является неотъемлемой составляющей объективной комплексной регистрации, экспресс-анализа и контроля ключевых биомеханических и физиологических параметров гребка в локомоциях на каноэ, что обусловлено необходимостью получения достоверной количественной информации, характеризующей эффективность движений гребца при выполнении заданий скоростно-силовой направленности в режиме реального времени, соответствующих структуре соревновательного упражнения. Получаемая информация всесторонне характеризует уровень скоростно-силовой подготовленности спортсмена и позволяет устанавливать причинно-следственные связи между различными контролируемыми параметрами. Эффективность оперативного контроля во многом зависит от функционала применяемых мобильных аппаратно-программных средств, удовлетворяющего педагогическим требованиям их проектирования и применения в тренировочном процессе спортсменов.

2. В комплексном контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов при выполнении тренировочных заданий на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли следует использовать параметры, характеризующие производительность, рациональность и эффективность движений. Указанные параметры выявляются на основе регистрации силы, развиваемой на лопасти весла, биоэлектрической активности мышц, несущих основную нагрузку при выполнении упражнения, а также скорости движений при работе на гребных эргометрах.

Наиболее информативными параметрами, характеризующими производительность движений при взаимодействии спортсмена с веслом, являются плотность гребка и скоростно-силовой индекс, отражающий быстроту нарастания усилия, а также потенциальные возможности спортсмена в отношении повышения эффективности опорной части гребка.

Рациональность движений следует оценивать на основе портрета распределения активности между исследуемыми мышцами, выраженного показателем вклада каждой мышцы в общую производительность движений в процентах от суммарной биоэлектрической активности всех задействованных групп мышц.

Эффективность движений при работе на гребных эргометрах характеризуется значением показателя эффективности гребли, отражающего

отношение затраченной спортсменом работы на продвижение и поддержание оптимальной скорости движения.

3. Методика применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью при контроле скоростно-силовой подготовленности высококвалифицированных гребцов-каноистов предполагает комплексную регистрацию и анализ кинематических, энергетических, динамических и физиологических характеристик движений в специальных упражнениях на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли при выполнении тренировочных заданий с различной интенсивностью. Суть обратной связи при этом состоит в поддержании оптимальных режимов работы гребцов с точки зрения достигаемого результата и затрачиваемых усилий, что определяется на основании данных, характеризующих взаимозависимость ключевых контролируемых параметров движений, отражающих уровень скоростно-силовой подготовленности спортсмена.

#### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Автором обоснована актуальность изучаемой проблемы и методы исследования. Определены наиболее информативные параметры для контроля скоростно-силовой подготовленности спортсменов при работе на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли. Осуществлено теоретико-экспериментальное обоснование средств и методов контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов на основе применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью. Разработаны алгоритмы автоматизированного анализа биомеханических параметров, характеризующих скоростно-силовую подготовленность гребцов-каноистов при выполнении тестовых заданий на гребных эргометрах и при взаимодействии с веслом в естественных условиях гребли. Сформулированы педагогические требования к проектированию и применению различных по назначению мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью для контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов.

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

Результаты диссертации докладывались и обсуждались на Международном научном конгрессе «Ценности, традиции и новации современного спорта» (Минск, БГУФК, 18–20 апреля 2018 г.); Белорусско-Китайском молодежном инновационном форуме «Новые горизонты – 2018» (Минск, БНТУ, 15–16 ноября 2018 г.); Международной научно-практической конференции «II Европейские игры – 2019: психолого-педагогические и медико-биологические аспекты подготовки спортсменов» (Минск, БГУФК, 4–5 апреля 2019 г.); XII Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения» (Минск, БНТУ, 17–19 апреля 2019 г.); Международной научно-практической конференции «Физическая культура, спорт и туризм: достижения теории и практики на современном этапе», (Минск, БГПУ, 15–16 ноября 2019 г.); III научно-практической конференции «День спортивной информатики», (Москва, ФБГУ ВНИИФК, 3–4 декабря 2019 г.); XXV Международном научном конгрессе «Олимпийский спорт и спорт для всех» (Минск, БГУФК, 15–17 октября 2020 г.); Междисциплинарном семинаре «Фундаментальные и прикладные науки спорту высших достижений» (Минск, БГУФК, 29 марта 2021 г.).

Практические результаты исследования подтверждены актами внедрения: № 1/19 от 21.06.2019, № 01-05/1052-1 от 17.12.2021 и № 01-05/1052-2 от 17.12.2021.

## **Опубликование результатов диссертации**

По теме диссертационного исследования опубликовано 19 научных работ (6,6 авторских листа). Из них: 10 статей в рецензируемых научных журналах и сборниках (5,1 авторских листа); 6 статей и 3 тезисов в материалах научных конференций (1,5 авторских листа).

## **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа содержит оглавление, перечень сокращений и условных обозначений, введение, общую характеристику работы, 4 главы, заключение, библиографический список, приложения. Полный объем диссертации составляет 177 страницы. Основной текст составляет 123 страницы, из которых 22 страницы занимают 18 таблиц и 27 рисунков. Библиографический список размещен на 15 страницах и включает список использованных источников (174 источника, из них 89 на иностранных языках), список публикаций автора (20 работ). Количество приложений – 4, их общий объем – 34 страницы.

## **Основное содержание работы**

В 1-й главе *«Проблема оценки и контроля скоростно-силовой подготовленности спортсменов в гребных локомоциях»* представлен обзор научно-методической литературы по проблеме исследования.

Соревновательный результат в гребле на каноэ зависит от большого количества факторов, среди которых определяющим является уровень скоростно-силовой подготовленности спортсмена. Высокая значимость данного фактора обуславливает и необходимость контроля основных параметров, характеризующих этот вид подготовленности (R. V. Mann, J. T. Kearney, 1980; В. Б. Иссурин, 1987). Различные компоненты подготовленности гребцов, определяющие результативность соревновательной деятельности, оцениваются по широкому спектру тестов.

Среди наиболее важных параметров контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов мы выделили два наиболее важных для оценки эффективности взаимодействия спортсмена с веслом: сила и мощность гребка, от которых во многом зависит движущая сила (В. Б. Иссурин, 1987; Ю. Д. Железняков, П. К. Петров, 2014). Усилие, прикладываемое к лопасти весла, находится во взаимосвязи со скоростью лодки, а от мощности гребка зависит способность поддерживать скорость и обеспечивать ускоренное продвижение лодки. Мощность, развиваемая спортсменом, – один из главных показателей его производительности, проявляется в способности увеличить скорость выполнения опорной части гребка с сохранением силового компонента на неизменно высоком уровне (Т. М. Замотин, 2014). Интегральной характеристикой рациональности техники гребли является адекватное двигательной задаче распределение активности между группами мышц, имеющих наивысшую степень значимости для максимальной реализации нервно-мышечного потенциала в ходе выполнения технических элементов гребли с обеспечением в процессе работы оптимального мышечного напряжения [5].

Благодаря достижениям в области материалов, датчиков и беспроводной телеметрии совершен большой скачок в разработке новых методов количественной оценки и анализа скоростно-силовой подготовленности спортсменов (E. Harbour, 2019). Достижения в технологическом развитии позволили создать

массовое производство миниатюрных инерционных датчиков, которые нашли свое применение для непосредственного контроля кинематических и энергетических параметров движений спортсмена, а также в проведении измерений при взаимодействии с инвентарем, как в лабораторных (гребной эргометр), так и естественных условиях гребли (весло и лодка) (M. T. Worsey et al., 2019). Технологические инновации и внедрение их в тренировочный и соревновательный процессы дали толчок всеобщему повышению результатов в гребле. Касаемо оценки динамических параметров гребка, анализ литературных источников показал наличие проблем, затрудняющих получение объективных данных измерения этих параметров в естественных условиях гребли. Различными авторами приводятся лишь результаты исследований с применением крупногабаритных диагностических комплексов и эргометрических тренажеров в лабораторных условиях (J. Baker, 1998; J. Sperlich, J. Baker, 2002; M. Petrovic et al., 2021 и др.). Беспроводные методы оценки в арсенале специалистов в настоящее время отсутствуют, но на протяжении последнего десятилетия наблюдается высокая активность исследователей из разных стран, которые используют метод тензометрии с целью оценки динамических параметров гребли (B. В. Анциперов, 2013; S. Tullis, C. Galipeau, D. Morgoch, 2018 и др.). Однако опытные образцы систем, которые описываются в этих работах, достаточно громоздки, а анализ массива получаемых данных трудоемок и требует значительных временных затрат, что не позволяет внедрять подобные средства для оперативного контроля в практику подготовки спортсменов-гребцов.

Для полного и глубокого анализа интегральной подготовленности спортсмена необходимо иметь также объективные данные о кинематических параметрах, характеризующих эффективность и результативность техники выполнения основного соревновательного упражнения. К наиболее информативным кинематическим параметрам гребли, количественно характеризующим эффективность выполнения гребка, принято относить среднюю скорость гребли на отрезке, темп гребли, длину проката лодки за гребок, время опорной/безопорной части гребка, ритмичность гребли, максимальное ускорение лодки, время достижения максимального ускорения лодки (J. Baker, 2012).

Еще одним важным направлением для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности является анализ состояния мышечной системы, поскольку скоростно-силовой потенциал гребца реализуется через мышечные усилия при взаимодействии с веслом, лодкой и средой. Для выявления групп мышц, несущих основную нагрузку в соревновательном упражнении и вносящих основной вклад в образование движущих сил, с учетом соответствия движений в суставах индивидуальному биомеханическому эталону, наиболее целесообразно использовать метод поверхностной электромиографии [5].

Контроль скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов является неотъемлемой частью тренировочного процесса, результаты которого целенаправленно используются при подборе тренировочных средств, планировании и дозировании нагрузок. Эффективность контроля во многом обусловлена использованием средств и методов комплексного контроля как инструмента совершенствования управленческих решений в тренировочном процессе с применением мобильных аппаратно-программных средств. Цель контроля – оптимизация тренировочного процесса на основе объективной оценки

различных сторон подготовленности гребца как в естественных условиях гребли, так и в условиях искусственной управляющей среды (на гребных эргометрах). Реализуется она в процессе решения большого многообразия частных задач, связанных с дозированием нагрузок, подбором тренировочных средств и методик для контроля различных сторон подготовленности, тестированием спортсменов и грамотной интерпретацией полученных результатов для проведения корректирующих мероприятий. Тренировочный процесс, контролируемый с использованием технических средств с обратной связью, позволяет организовать эффективный непрерывный мониторинг и сознательное управление физиологическими и биомеханическими показателями движений спортсмена с обеспечением их нахождения в заданных тренировочным режимом пределах.

Использование технологий обратной связи позволяет каждому спортсмену добиться полной реализации своего двигательного потенциала (W. Cornelia, 2008). С ее помощью значительно проще и быстрее удастся овладеть способностью саморегуляции, которая позволяет гибко модулировать ответы при решении двигательных задач, а значит справляться с ними более успешно и с меньшими энерготратами (M. Durее, 2016).

Во 2-й главе *«Мобильные информационно-измерительные системы в контроле и оценке скоростно-силовой подготовленности гребцов»* изложены методология, методы, организация исследования и педагогические требования для проектирования и применения различных по назначению мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в контроле и оценке скоростно-силовой подготовленности гребцов.

Для решения поставленных задач было проведено исследование, которое включало в себя четыре этапа.

На первом этапе (ноябрь 2017 г. – январь 2019 г.) анализировались и обобщались данные научно-методической литературы по проблеме исследования; были сформулированы цель, задачи и рабочая гипотеза; подбирались методы и отрабатывались подходы к решению поставленных задач с помощью выбранных технических средств для оценки и контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов. При тестировании спортсменов женского состава (n=6) национальной команды Республики Беларусь по гребле на каноэ была апробирована возможность использования метода электромиографии для оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов путем анализа сигналов биоэлектрической активности ведущих групп мышц при выполнении тестовых заданий с различной интенсивностью на гребных эргометрах. Для точного выделения отдельных циклов движения, а также снижения погрешности оператора при обработке и анализе данных применялся способ синхронной видеофиксации перемещений биоэлектрической активности спортсменов и регистрации сигналов биоэлектрической активности мышц. При тестировании в естественных условиях гребли применялись разработанные интеллектуальные датчики «Oar smart», закрепляемые на весла спортсменов, с помощью которых регистрировались динамические параметры движений в подводной части гребка.

С целью отработки подхода для оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов с использованием аппаратно-программного комплекса (далее – АПК) «Tendo Power Analyzer» при выполнении тестовых заданий

различной интенсивности на гребных эргометрах в рамках пилотного исследования были протестированы спортсмены (n=5 – КМС, юноши) в возрасте 16–18 лет, специализирующиеся в гребле на каноэ.

На втором этапе (февраль 2019 г. – май 2019 г.) велась разработка методики применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов, а также алгоритмов автоматизированного анализа биомеханических параметров движений на гребных эргометрах и при взаимодействии с веслом в естественных условиях гребли.

Для обоснования эффективности разработанной методики был проведен последовательный педагогический эксперимент с участием спортсменов (n=15 – КМС, юноши) в возрасте 16–18 лет, специализирующихся в гребле на каноэ.

На третьем этапе (июнь 2019 – июль 2021) исследования осуществлялось внедрение разработанной методики в подготовку спортсменов национальной команды Республики Беларусь по гребле на каноэ.

На четвертом этапе (август 2021 г. – ноябрь 2021 г.) проводилась математико-статистическая обработка результатов исследования, осуществлялись анализ, систематизация и обобщение полученных данных; формулировались основные научные результаты и разрабатывались практические рекомендации.

С учетом авторских представлений и результатов исследований предшественников сформулированы педагогические требования к проектированию мобильных АПК с обратной связью для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности спортсменов-гребцов: возможность синхронизации сигналов различных измерительных устройств; высокая чувствительность первичных измерительных датчиков и приемлемая частота регистрации данных; надежная система механической фиксации крепления для предотвращения изменения положения измерительных элементов в процессе выполнения заданий; возможность получения срочной информации для внесения корректирующих поправок в выполнение тренировочного задания; отсутствие или минимизация влияния измерительного оборудования на биомеханическую структуру движений спортсмена и системы «спортсмен-весло-лодка»; возможность обеспечения обратной связи для спортсмена и тренера в форме звуковых или визуальных сигналов, понятных и заранее известных, в удобной для восприятия и понимания форме.

Педагогические требования к применению мобильных АПК при контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов должны обеспечивать: количественную оценку производительности движений в заданиях, близких по структуре к соревновательному упражнению; оперативную оценку воздействия физических нагрузок на спортсмена при выполнении упражнения на фоне утомления; оперативную оценку рациональности нервно-мышечной деятельности в процессе скоростно-силовой работы, включая оценку оптимальности напряжения, длительности и последовательности возбуждения мышц с сохранением целевой мощности в рамках строго заданной структуры движений; для объективного и обоснованного подбора весла, позволяющего наиболее полно реализовать двигательный потенциал спортсмена.

В 3-й главе *«Экспериментальное обоснование методики применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в контроле и оценке скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов в условиях*

*работы на гребных эргометрах»* представлены результаты исследований выполнения стандартизированных тестовых заданий с синхронной регистрацией показателей скорости и мощности движений, а также биоэлектрической активности мышц. Выбор данных методик обусловлен необходимостью контроля биомеханических и физиологических параметров и сопряженным анализом данных, отражающих производительность, рациональность и эффективность движений спортсмена по кинематическим, энергетическим и физиологическим характеристикам. По результатам этих исследований определен ряд ключевых параметров, характеризующих движения гребцов-каноистов в специальных упражнениях на гребных эргометрах, отработаны различные подходы к анализу электромиограмм, а также разработан алгоритм автоматизированного анализа биомеханических параметров и формы индивидуальных протоколов тестирования.

Все это легло в основу методики применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов при выполнении заданий на гребных эргометрах. Разработанная методика представляет собой процесс синхронного измерения в режиме реального времени наиболее информативных параметров: мощности гребка и биоэлектрической активности мышц и их последующей комплексной обработки с использованием разработанного алгоритма автоматизированного анализа данных. Созданный алгоритм позволяет повысить точность обработки данных и обеспечивает возможность сбора результатов для формирования базы данных в процессе регулярных тестирований спортсменов на этапах многолетней подготовки.

Обоснование эффективности разработанной методики для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов осуществлялось в условиях тренировочного процесса в рамках первого этапа педагогического эксперимента с участием спортсменов в возрасте 16–18 лет ( $n=15$  – КМС, юноши) при выполнении тестовых заданий на гребных эргометрах «Kayak SpeedStroke GYM-Canoe C1-N». Тестовые задания были взяты из программы для специализированных учебно-спортивных учреждений по гребле на байдарках и каноэ: ТЗ\_1 – 4-минутный тест для оценки общей выносливости; ТЗ\_2 – 2-минутный тест для оценки специальной выносливости; ТЗ\_3 – 30-секундный тест для оценки скоростных способностей.

Контроль биомеханических показателей, характеризующих уровень скоростно-силовой подготовленности спортсменов, осуществлялся с использованием АПК «Tendo Power Analyzer» еженедельно в течение месяца (4 среза: исходный, два промежуточных и итоговый). В качестве ключевых были выделены параметры, характеризующие результативность гребли (пройденный путь – S), производительность движений (мощность гребка – P) и эффективность гребли (ЭГ).

Анализ динамики ключевых параметров позволяет выявлять причины недостаточно сбалансированной работы и принимать объективные решения для целенаправленной коррекции тренировочного процесса. В качестве интегрального параметра, характеризующего эффективность гребли, был выделен разработанный

нами параметр – ЭГ, отражающий эффективность затраченной энергии на обеспечение продвижения лодки с оптимальной скоростью (1) [1].

$$\text{ЭГ} = \frac{A_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}} \times V_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где  $L_{\text{ср}}$  – средняя длина проката за гребок, м;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость за гребок, м/с;

$A_{\text{ср}}$  – среднее значение количества работы за гребок, Дж.

Значение данного параметра, стремящееся к уменьшению, характеризует более высокую эффективность работы, а сравнивая результаты различных заданий возможно определить наиболее продуктивную стратегию для спортсмена. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Динамика биомеханических показателей уровня скоростно-силовой подготовленности участников эксперимента на гребном эргометре

Задание	Параметры	1 срез	2 срез	3 срез	4 срез	<i>P</i>
ТЗ 1	$\bar{S} \pm \sigma$ , м	675,4±38,2	728,0±34,0	656,0±71,8	750,8±42,5	<0,05
ТЗ 2		362,8±25,4	370,6±20,3	380,6±21,1	389,0±19,3	<0,05
ТЗ 3		98,0±9,6	106,0±9,5	105,8±7,9	112,2±7,7	<0,05
ТЗ 1	$\bar{P} \pm \sigma$ , Вт	308,4±17,9	327,6±13,1	303,0±25,7	331,2±11,7	<0,05
ТЗ 2		353,0±22,5	368,0±13,7	380,6±14,5	391,6±14,9	<0,05
ТЗ 3		404,6±14,7	415,0±13,1	414,8±10,6	424,6±12,9	<0,05
ТЗ 1	$\text{ЭГ} \pm \sigma$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{м} \times \text{м/с}}$	21,9±0,4	22,0±0,4	21,0±0,6	20,8±0,7	<0,05
ТЗ 2		20,2±0,6	20,0±0,4	19,7±0,5	19,1±0,3	<0,05
ТЗ 3		24,2±1,4	25,5±1,5	24,0±1,2	23,8±0,9	<0,05

Анализ результатов выполнения тестовых заданий на гребном эргометре после их статистической обработки позволил выявить достоверные различия по ключевым контролируемым параметрам, что позволяет сделать вывод о достоверном улучшении результатов во всех заданиях к концу эксперимента.

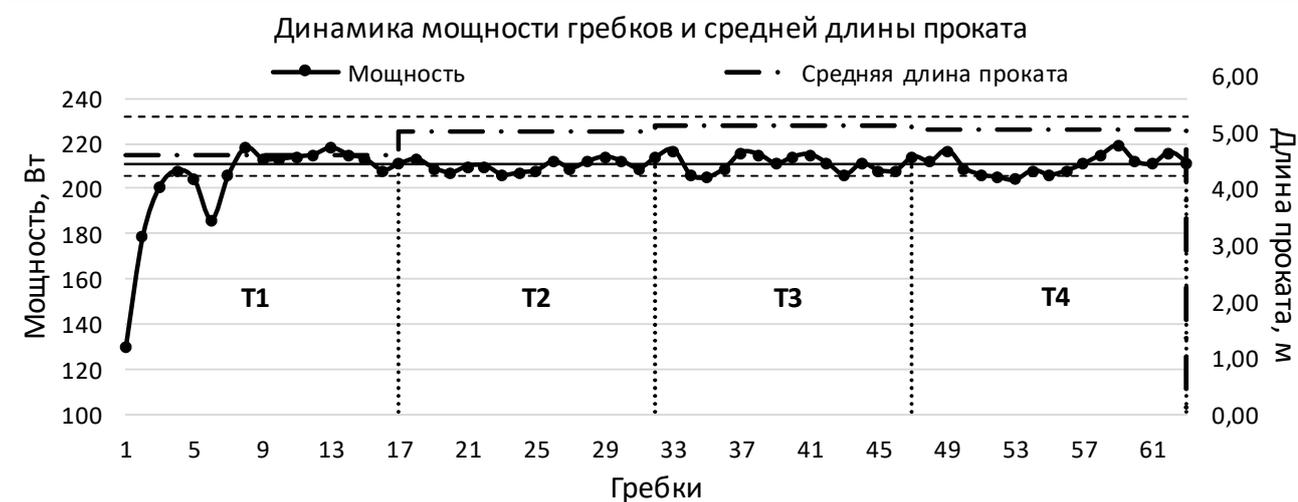
На основании полученных данных разработанная методика в 2020 и 2021 гг. использовалась при контроле скоростно-силовой подготовленности ведущих спортсменов ( $n=4$ , женский состав) национальной команды Республики Беларусь по гребле на каноэ при подготовке к XXXII Олимпийским играм в Токио. Спортсмены на гребном эргометре «Dansprint» выполняли тестовые задания с регистрацией показателей биоэлектрической активности мышц и показателей скорости и мощности движений: ТЗ\_1 – работа длительностью 2 минуты в аэробной зоне энергообеспечения; ТЗ\_2 – работа длительностью 1 минута с субмаксимальной интенсивностью.

Полученная информация позволила оценить состояние готовности спортсменов, а также проанализировать качество проделанной работы на соответствие поставленным задачам (рисунок 1).

Спортсмен: *СпЗ*  
 Упражнение: *Гребля на эргометре*  
 Условия выполнения: *Тренажер "Dansprint", 2 минуты (аэробная зона энергообеспечения)*

Параметры	T3_1	T1	T2	T3	T4
t, с	120	30	30	30	30
S, м	311	78	75	77	81
Темп, гр/мин	31,5	34,0	30,0	30,0	32,0
L <sub>ср</sub> , м/гребок	4,94	4,59	5,00	5,13	5,06
V <sub>ср</sub> , м/с	2,59	2,60	2,50	2,57	2,70
Гребков	63	17	15	15	16
Гребков в ГП	55	12	15	14	14
Гребков в ГП, %	87	71	100	93	88
P <sub>ср</sub> ±σ, Вт	209,5±10,4	203,1±21,6	210,1±2,6	211,1±4,0	210,6±4,5
K <sub>ст</sub> , %	95,0	89,4	98,8	98,1	97,9
A(t)±σ, м	1,28±0,049	1,28±0,081	1,23±0,033	1,29±0,028	1,27±0,032
K <sub>ст</sub> , %	96,2	93,7	97,3	97,9	97,5
t <sub>оф</sub> ±σ, Вт	0,60±0,020	0,6±0,039	0,6±0,012	0,6±0,012	0,6±0,013
K <sub>ст</sub> , %	96,7	93,5	98,0	98,0	97,9
A <sub>ср</sub> ±σ, Дж	124,9±4,8	120,4±7,8	126,2±3,2	124,3±2,7	125,4±3,1
K <sub>ст</sub> , %	96,2	93,5	97,5	97,8	97,5
ЭГ (→0)	9,76	10,09	10,09	9,43	9,18

Примечания: гребков в ГП – количество гребков в границах между 20 и 100 персентилем (коридор, образованный штриховыми линиями на графике); K<sub>ст</sub> – коэффициент стабильности, отражающий повторяемость значений параметра, для которого он рассчитан, в динамике выполнения упражнения; A(t) – средняя амплитуда опорной фазы гребка; t<sub>оф</sub> – среднее время опорной фазы гребка; A<sub>ср</sub> – среднее значение количества работы за гребок; ЭГ – параметр, отражающий эффективность затраченной работы для продвижения (стремится к нулю)



**Рисунок 1. – Индивидуальный протокол оценки скоростно-силовой подготовленности спортсмена при выполнении заданий на гребном эргометре**

На основании анализа биомеханических параметров движений при выполнении тестовых заданий на гребных эргометрах сделаны следующие выводы:

1. Результативность выполнения заданий, выраженная в величине пройденного пути за время их выполнения, зависит от мощности гребка, стабильности генерации усилий на протяжении всей работы, темпа, амплитуды движений.

2. Существенные колебания мощности движений негативно сказываются на продвигающей функции гребка, что выражается в недостаточно высоких значениях коэффициента стабильности, длины проката и результативности выполнения заданий. Зачастую при недостаточно высокой стабильности гребков по мощности движений целесообразно работать в режиме с пониженной мощностью, чтобы поддерживать ее в диапазоне малых колебаний.

3. Эффективность гребли во многом зависит от рационального соотношения между мощностью и темпом. Индикатором высокой эффективности является стремящееся к нулю значение параметра ЭГ, который зависит от количества выполненной в ходе гребка работы и достигаемой в результате этого скорости и длины проката. При высоком уровне производительности спортсмена повышение темпа с незначительным повышением скорости проката приводит к чрезмерным энергозатратам, что сопровождается выполнением большого количества работы с невысоким значением длины проката.

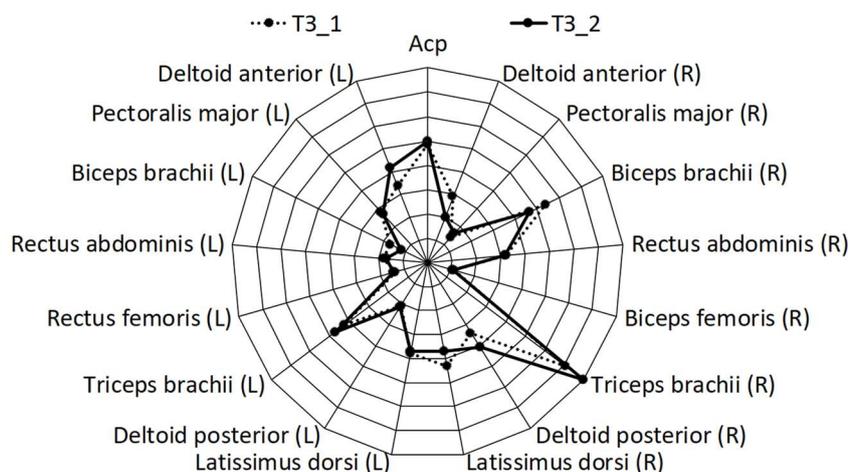
Отражением должного уровня скоростно-силовой подготовленности, помимо высоких показателей производительности движений, является достижение и поддержание в процессе работы оптимального напряжения основных групп мышц, имеющих наивысшую степень значимости для максимальной реализации нервно-мышечного потенциала в рамках строго заданной структуры движений. На основании этого можно говорить о том, что оценка скоростно-силовой подготовленности является результатом комплексного подхода, для реализации которого не обойтись без регистрации и сопряженного анализа биомеханических и физиологических параметров, отражающих производительность, рациональность и эффективность движений спортсмена.

При тестировании спортсменов основная задача состояла в количественном определении степени участия каждой группы мышц в производительности движений (характеризует разработанный параметр «вклад в работу» (далее – ВР), который отражает степень участия конкретной мышцы относительно суммарной активности всех исследуемых мышц) [5].

При этом нет необходимости стремиться к тому, чтобы активность всех мышц была высокой. Основная задача состоит в определении тех мышечных групп, на которые приходится основная нагрузка с повышением интенсивности. Особое внимание необходимо уделять крупным группам мышц, высокий уровень активизации которых имеет важное значение для выполнения длительной работы скоростно-силовой направленности в зонах субмаксимальной и максимальной интенсивности с поддержанием рабочей мощности гребка. Неравномерная активизация мышц при повышении интенсивности работы на гребных эргометрах является индикатором недостаточно сбалансированной работы. Характер распределения активности между ведущими группами мышц спортсмена можно представить в виде индивидуального портрета (рисунок 2).

Спортсмен: СпЗ  
 Упражнение: гребля на эргометре  
 Условия выполнения: тренажер "Dansprint"; ТЗ\_1 – 2 минуты (аэробная зона энергообеспечения);  
 ТЗ\_2 – 1 минута (субмаксимальная интенсивность)

Мышцы	ТЗ_1		ТЗ_2	
	BP, %		BP, %	
Deltoid anterior (R)	5,8		4,0	
Deltoid anterior (L)	6,7		8,4	
Pectoralis major (R)	2,8		3,3	
Pectoralis major (L)	5,6		5,4	
Biceps brachii (R)	10,8		9,3	
Biceps brachii (L)	3,4		2,4	
Rectus abdominis (R)	6,4		6,3	
Rectus abdominis (L)	3,7		3,4	
Biceps femoris (R)	2,3		2,2	
Rectus femoris (L)	2,7		2,9	
Triceps brachii (R)	14,1		16,0	
Triceps brachii (L)	8,5		9,4	
Deltoid posterior (R)	6,8		8,2	
Deltoid posterior (L)	4,1		4,2	
Latissimus dorsi (R)	8,7		7,4	
Latissimus dorsi (L)	7,5		7,4	
<b>A<sub>ср</sub></b>	<b>9,7</b>	<b>10,0</b>		



**Рисунок 2. – Индивидуальный портрет распределения активности между ведущими группами мышц спортсмена при тестировании на гребном эргометре "Dansprint"**

С целью оценки изменений нервно-мышечной организации движений при выполнении заданий на гребных эргометрах был проведен корреляционный анализ степени схожести портретов распределения активности между исследуемыми группами мышц спортсменов на этапах подготовки в 2020 и 2021 годах. Для этого был рассчитан коэффициент корреляции посредством функции «коррел» с помощью программного продукта MS Excel, входными данными для которой являются два диапазона значений, характеризующих биоэлектрическую активность исследуемых групп мышц. Выбор данной функции обусловлен ее широким применением в цифровой обработке сигналов для оценки схожести однородных массивов данных (А. А. Аббакумов, 2021). Результаты анализа позволили выявить высокую степень схожести портретов распределения активности между ведущими группами мышц спортсменов, что свидетельствует о незначительных изменениях в организации движений с точки зрения распределения усилий между ними.

Поскольку любое двигательное действие имеет как внешнюю, так и внутреннюю форму проявления, наиболее информативным способом оценки скоростно-силовой подготовленности при выполнении стандартизированных

заданий является метод сопряженного анализа биомеханических и физиологических параметров, отражающих производительность, рациональность и эффективность движений спортсмена. Ключевыми контролируемыми параметрами при этом являются: мощность движений, величина пройденного пути, ЭГ, биоэлектрическая активность ведущих групп мышц и стабильность двигательного стереотипа по всем перечисленным параметрам. Такой подход позволяет определить и проанализировать взаимозависимость пространственно-временной структуры гребков с двигательной производительностью гребли в целом и выявить наиболее оптимальное их соотношение. Регулярный контроль этих параметров и грамотная коррекция тренировочных программ на основании точных количественных данных индивидуального восприятия нагрузок позволят добиться повышения скоростно-силовой подготовленности гребца, в значительной степени определяющей соревновательную результативность.

В 4-й главе *«Экспериментальное обоснование эффективности применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в контроле и оценке скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов в естественных условиях гребли»* представлены результаты собственных исследований при выполнении стандартизированных тестовых заданий, в процессе которых у спортсменов регистрировались сигналы биоэлектрической активности мышц и величина развиваемых усилий на лопасти весла. По результатам этих исследований определен ряд ключевых параметров, характеризующих движения гребцов-каноистов в естественных условиях гребли, разработан алгоритм автоматизированного анализа биомеханических параметров и форма индивидуального протокола.

Разработанная методика применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью для контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов при выполнении заданий в естественных условиях гребли представляет собой процесс синхронного измерения в режиме реального времени наиболее информативных параметров: величины усилия, развиваемого на лопасти весла и биоэлектрической активности мышц, и их последующей комплексной обработки с использованием разработанного алгоритма автоматизированного анализа данных. Созданный алгоритм позволяет повысить точность обработки данных и обеспечивает возможность сбора результатов для формирования базы данных в процессе регулярных тестирований спортсменов на этапах многолетней подготовки.

Для проверки эффективности методики применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов при выполнении заданий в естественных условиях гребли был проведен второй этап педагогического формирующего эксперимента с участием тех же спортсменов ( $n=15$  – КМС, юноши). Для контроля подготовленности гребцов были использованы тесты из программы для специализированных учебно-спортивных учреждений по гребле на байдарках и каноэ: ТЗ\_1 – предельно-однократное прохождение дистанции 1000 м; ТЗ\_2 – предельно-однократное прохождение дистанции 500 м; ТЗ\_3 – предельно-однократное прохождение дистанции 200 м.

Для получения исходных данных и с целью изучения сдвигов в уровне подготовленности спортсменов в процессе эксперимента осуществлялся их

еженедельный контроль (4 среза: исходный, два промежуточных и итоговый). В качестве ключевых были выделены параметры, характеризующие результативность гребли (величина времени преодоления дистанции –  $t$ ), производительность гребли с точки зрения величины развиваемых на лопасти весла усилий ( $F$ ) и скоростно-силового индекса ( $J$ ), а также пропульсивную эффективность гребка, выраженную параметром плотности ( $\rho$ ). Регистрация данных осуществлялась с использованием разработанных интеллектуальных датчиков «Oar smart», закрепляемых на весло спортсмена. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Динамика биомеханических показателей уровня скоростно-силовой подготовленности участников эксперимента в естественных условиях гребли

Задание	Параметры	1 срез	2 срез	3 срез	4 срез	$P$
TЗ_1	$\bar{t} \pm \sigma$ , с	294,2 $\pm$ 2,7	292,7 $\pm$ 2,9	290,7 $\pm$ 3,2	289,4 $\pm$ 3,0	$\leq 0,05$
TЗ_2		134,0 $\pm$ 3,0	133,5 $\pm$ 3,4	133,1 $\pm$ 3,0	131,6 $\pm$ 3,2	$\leq 0,05$
TЗ_3		49,8 $\pm$ 2,9	50,4 $\pm$ 4,5	49,3 $\pm$ 2,9	47,8 $\pm$ 2,3	$\leq 0,05$
TЗ_1	$\bar{F} \pm \sigma$ , кг	28,7 $\pm$ 1,8	28,6 $\pm$ 2,3	29,2 $\pm$ 2,2	30,4 $\pm$ 2,8	$\leq 0,05$
TЗ_2		25,6 $\pm$ 1,7	25,8 $\pm$ 1,9	26,7 $\pm$ 1,6	27,8 $\pm$ 2,2	$\leq 0,05$
TЗ_3		22,6 $\pm$ 1,5	22,7 $\pm$ 1,7	23,1 $\pm$ 1,5	24,0 $\pm$ 1,9	$\leq 0,05$
TЗ_1	$\bar{J} \pm \sigma$ , кг/с	172,3 $\pm$ 8,9	175,1 $\pm$ 9,2	176,9 $\pm$ 9,7	182,8 $\pm$ 12,2	$\leq 0,05$
TЗ_2		244,1 $\pm$ 14,9	245,5 $\pm$ 16,6	247,0 $\pm$ 14,6	259,0 $\pm$ 18,2	$\leq 0,05$
TЗ_3		316,0 $\pm$ 21,6	315,8 $\pm$ 24,7	317,1 $\pm$ 22,3	337,4 $\pm$ 29,1	$\leq 0,05$
TЗ_1	$\bar{\rho} \pm \sigma$	0,51 $\pm$ 0,06	0,51 $\pm$ 0,05	0,53 $\pm$ 0,04	0,56 $\pm$ 0,08	$\leq 0,05$
TЗ_2		0,44 $\pm$ 0,05	0,44 $\pm$ 0,04	0,47 $\pm$ 0,03	0,48 $\pm$ 0,07	$\leq 0,05$
TЗ_3		0,38 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,03	0,40 $\pm$ 0,03	0,42 $\pm$ 0,06	$\leq 0,05$

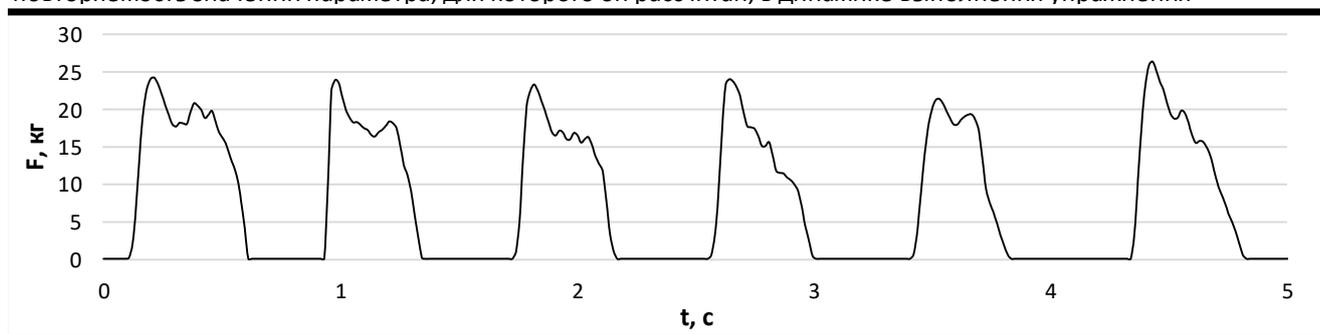
Анализ результатов прохождения контрольных дистанций в лодке позволил выявить достоверные различия по ключевым контролируемым параметрам, что позволяет сделать вывод о достоверном улучшении результатов во всех тестовых заданиях к концу эксперимента.

На основании результатов двухэтапного педагогического эксперимента можно сделать общее заключение о высокой эффективности разработанной методики применения мобильных аппаратно-программных средств для контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов.

На основе разработанной методики в рамках учебно-тренировочных сборов спортсменов ( $n=3$ , женский состав) национальной команды Республики Беларусь по гребле на каноэ при подготовке к XXXII Олимпийским играм в Токио были проведены два этапа тестирования, результатом которого явилось представление о динамике ключевых биомеханических и физиологических параметров движений при выполнении стандартизированных заданий в естественных условиях гребли. Спортсмены преодолевали дистанцию 500 метров с максимальной интенсивностью, которая соответствует соревновательной. В тестах, как и на гребных эргометрах, использовался метод сопряженного анализа биомеханических и физиологических параметров, отражающих производительность, рациональность и эффективность движений спортсмена. Полученная информация позволила оценить состояние готовности спортсменов, а также проанализировать качество проделанной работы на соответствие поставленным задачам (рисунок 3).

Спортсмен:	Сп1						
Упражнение:	гребля в лодке						
Условия выполнения:	преодоление дистанции 500 метров с максимальной интенсивностью						
Дистанция, м	<b>500</b>	n, гребков	<b>126</b>	$L_{cp}$ , м/гребок	<b>3,97</b>	t, с	<b>121,74</b>
<b>Параметры</b>	<b><math>t_{off}</math>, с</b>	<b><math>t_{off}/t_{ц}</math>, %</b>	<b>T, гр/мин</b>	<b><math>F_{max}</math>, кг</b>	<b><math>F_{cp}</math>, кг</b>	<b><math>\rho</math></b>	<b>J, кг/с</b>
Мин	0,389	45,0	52,5	21,3	10,9	0,47	100,7
Макс	0,520	60,4	69,6	26,8	16,4	0,68	394,1
$X_{cp} \pm \sigma$	0,472 $\pm$ 0,066	52,0 $\pm$ 5,1	66,1 $\pm$ 2,3	24,3 $\pm$ 1,7	13,6 $\pm$ 1,9	0,56 $\pm$ 0,07	181,4 $\pm$ 81,6
$K_{ст}$	92,5	90,2	93,7	93,2	86,0	87,7	55,0

Примечания:  $L_{cp}$  – среднее значение длины проката за гребок, м; t – общее время выполнения задания, с;  $t_{off}$  – среднее время опорной части гребка, с;  $t_{ц}$  – время цикла гребли, с; T – темп гребли, гр/мин;  $F_{max}$  – максимальная нагрузка, развиваемая на лопасти весла, кг;  $F_{cp}$  – среднее значение нагрузки, развиваемой на лопасти весла за гребок, кг;  $\rho$  – плотность гребка (отношение средней величины нагрузки на лопасти весла за гребок к пиковому значению  $F_{max}/F_{cp}$ ); J – скоростно-силовой индекс, кг/с;  $K_{ст}$  – коэффициент стабильности, отражающий повторяемость значений параметра, для которого он рассчитан, в динамике выполнения упражнения



**Рисунок 3. – Индивидуальный протокол оценки скоростно-силовой подготовленности спортсмена при взаимодействии с веслом в условиях гребных локомотий**

Среднее значение нагрузки на лопасти весла представляет собой автоматизированный расчет площади под кривой, которая и характеризует среднее значение силы, а также является показателем, отражающим количество работы, которую выполнил спортсмен за гребок (J. Warmenhoven et al., 2017). Это значение зависит, прежде всего, от величины пикового усилия и амплитуды опорной части гребка. Если спортсмен прилагает большую силу в течение всего гребка, площадь под кривой силы будет больше. Однако, если гребец развивает большие пиковые усилия, но амплитуда опорной части гребка очень короткая, общая площадь может быть меньше, чем у гребца, у которого пиковые усилия несколько ниже, но он более равномерно распределяет силу на большей амплитуде опорной части гребка (тем самым проделывая больше полезной работы). Более высокая плотность гребка характеризует ее более высокую пропульсивную эффективность (J. Doeksen, 2018).

Данные индивидуальной динамики развиваемых усилий на лопасти весла позволяют судить об эффективности выполнения опорной части гребка (характеризуется плотностью гребка и коэффициентом стабильности), а также оценить способность к дифференцированию усилий от гребка к гребку (характеризуется коэффициентами стабильности пиковых и средних значений нагрузки на лопасти весла). Поскольку спортсмены выполняли задания с максимальной интенсивностью, полученные данные позволяют объективно

оценивать устойчивость динамического стереотипа, так как условия тестирования приближены к соревновательным.

Помимо абсолютного сравнения, которое можно провести со всеми описанными характеристиками кривой силы, в режиме реального времени возможно анализировать форму кривой. Она может существенно изменяться от перемены условий, в которых выполняется задание, особенностей выполнения задания, степени утомления спортсмена, используемого весла и изменений характеристик весла, уровня мастерства спортсмена, а также свойств среды, в которой выполняется работа (J. Doeksen, 2018). Это наглядно видно из фрагмента, представленного в протоколе на рисунке 3. Кривая обладает существенной вариативностью как по амплитуде, так и по характеру изменения нагрузки на лопасти весла. Опираясь этими данными, тренер получает возможность разработать стратегию повышения производительности гребца за счет варьирования кинематических величин гребка (амплитуда опорной части, длительность опорной или безопорной частей гребка, момент и положение весла в фазе извлечения из воды), влияющих на изменения динамических параметров движений.

Совокупно анализируя данные, характеризующие биомеханические и физиологические показатели гребли, возможно выявлять оптимальное соотношение между производительностью гребли и рациональностью техники спортсмена, получая объективную информацию, которая необходима для принятия обоснованных решений по внесению поправок в тренировочную программу и целенаправленных корректирующих воздействий.

## **Заключение**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Неотъемлемой частью тренировочного процесса гребцов-каноистов является контроль скоростно-силовой подготовленности, результаты которого целенаправленно используются при подборе тренировочных средств, планировании и дозировании нагрузок, а также в оценке эффективности тренировочных занятий. Осуществление процедуры контроля возможно только на основе оперативного получения объективных данных о большом числе взаимосвязанных между собой кинематических, динамических, энергетических и физиологических параметров, совокупно характеризующих как эффективность и результативность техники двигательных действий в гребле на каноэ, так и динамику скоростно-силовой подготовленности спортсмена в различные периоды подготовки [3, 6].

Целью контроля является получение объективной оценки состояния различных сторон подготовленности спортсмена, определение эффективности переноса тренировочного эффекта на соревновательную деятельность и оперативное управление ходом тренировки. Оперативное управление тренировочным процессом гребцов осуществляется по показателям, характеризующим состояние систем, несущих основную нагрузку при выполнении соответствующих упражнений. Представление информации в процессе контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов в виде точных

количественных величин является обязательным требованием для обеспечения эффективного управления тренировочным процессом [2, 11, 13].

Объективность контроля ключевых биомеханических и физиологических параметров гребка в локомоциях на каноэ определяется техническими возможностями и функционалом применяемых мобильных аппаратно-программных средств, которые должны обладать высокой эргономичностью и специфичностью в решении педагогических задач, на которые направлено их использование. Анализ состояния систем контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов показал наличие проблем, затрудняющих получение объективных данных в естественных условиях гребли. Одной из значимых проблем является отсутствие научно обоснованных педагогических требований к техническим средствам, обеспечивающих объективную комплексную регистрацию ключевых биомеханических и физиологических параметров гребка в локомоциях на каноэ. При проектировании таких технических средств следует соблюдать следующие педагогические требования [14]:

возможность синхронизации сигналов различных по назначению измерительных устройств, входящих в комплекс, реализуемый на аппаратно-программном уровне;

высокая чувствительность первичных измерительных датчиков и преобразователей, а также приемлемая частота регистрации данных, определяющих качество сигнала и точность измерений;

надежная система механической фиксации, предотвращающая изменения положения измерительных элементов в процессе выполнения заданий [10];

высокая степень гидроизоляции измерительных элементов без снижения качества регистрируемого сигнала как при выполнении тестовых заданий, так и в естественных условиях гребли;

возможность получения срочной информации для внесения корректирующих поправок в выполнение тренировочного задания;

отсутствие или минимизация влияния измерительного оборудования на биомеханическую структуру движений спортсмена и системы «спортсмен-весло-лодка»;

возможность обеспечения обратной связи для спортсмена и тренера в форме звуковых или визуальных сигналов, понятных и заранее известных, в удобной для восприятия и понимания форме [6, 8].

В свою очередь, педагогические требования к применению мобильных аппаратно-программных средств при контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов должны обеспечивать [14]:

количественную оценку производительности движений в заданиях, близких по структуре к соревновательному упражнению [1, 16];

оперативную оценку воздействия физических нагрузок на спортсмена при выполнении упражнения на фоне утомления [1, 6, 7];

оперативную оценку рациональности нервно-мышечной деятельности в процессе скоростно-силовой работы, включая оценку оптимальности напряжения, длительности и последовательности возбуждения мышц с сохранением целевой мощности в рамках строго заданной структуры движений [5, 20];

объективный и обоснованный выбор весла, позволяющего наиболее полно реализовать двигательный потенциал спортсмена [4].

Использование технических средств в тренировочном процессе, удовлетворяющих данным педагогическим требованиям, позволяет в режиме реального времени организовать непрерывный мониторинг показателей, характеризующих биомеханические и физиологические параметры движений спортсмена с обеспечением их нахождения в заданных тренировочным режимом пределах [15, 20].

2. Основными интегральными характеристиками скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов в упражнениях как на гребных эргометрах, так и в естественных условиях гребли являются: производительность движений, рациональность техники и эффективность гребли.

Производительность движений при выполнении упражнений на гребных эргометрах представляет собой анализ мощности гребка в его опорной части как функции времени [1, 2].

Оценка производительности движений в естественных условиях гребли требует определения величины усилия, развиваемого на лопасти весла и быстроты его нарастания (выражена скоростно-силовым индексом, определяемым как отношение величины максимального значения усилия на лопасти весла ко времени его достижения, отражающего потенциальные возможности спортсмена к повышению пропульсивной эффективности гребка) [2, 6, 19].

Рациональность техники в обоих случаях определяется адекватным двигательной задаче распределением активности между группами мышц, имеющих наивысшую степень влияния на максимальную реализацию нервно-мышечного потенциала в ходе выполнения тренировочного задания с обеспечением достижения и поддержания в процессе работы оптимального напряжения. Контролировать и оценивать рациональность техники следует, используя показатель ВР (вклад в работу), получаемый на основе анализа амплитудной характеристики биоэлектрической активности мышц гребца. Это позволяет выявлять наиболее активные группы мышц, вносящие основной вклад в образование движущих сил, с учетом соответствия движений в суставах индивидуальному биомеханическому эталону [5, 12, 20].

Эффективность гребли в случае использования гребного эргометра определяется затратами энергии спортсмена на продвижение лодки и выражается параметром «эффективность гребли» (ЭГ), рассчитываемым как отношение выполненной в ходе гребка работы к произведению достигнутой скорости и перемещения лодки [1, 6].

При анализе эффективности гребли в естественных условиях следует использовать параметр, характеризующий пропульсивную эффективность гребка, определяемую величиной и динамикой усилия, развиваемого на лопасти весла в опорной части гребка для увеличения средней скорости движения и длины проката лодки [6]. Исследование показало, что данные, характеризующие этот процесс, могут быть достоверно зарегистрированы и контролироваться в режиме реального времени с помощью разработанных интеллектуальных тензометрических датчиков «Oar smart», закрепляемых на древко весла [2, 16]. Датчики позволяют оценить пропульсивную эффективность гребка, которая характеризуется его плотностью, рассчитываемой как отношение средней величины усилия на лопасти весла за гребок к пиковому значению [6, 16].

В режиме обратной связи контролировать пропульсивную эффективность гребка следует по форме регистрируемой кривой зависимости усилия от времени и величины данного показателя, причем форма кривой, близкая к треугольной, характеризует низкую плотность гребка, а приближающаяся к прямоугольной – высокую плотность. При этом большая плотность соответствует более эффективному гребку [16].

3. Методика применения мобильных аппаратно-программных средств для контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов представляет собой процесс синхронного измерения в режиме реального времени наиболее информативных параметров гребли: мощности гребка; биоэлектрической активности мышц; величины усилия, развиваемого на лопасти весла, их последующей комплексной обработки с использованием разработанных алгоритмов автоматизированного анализа данных и оригинального программного обеспечения [1, 6, 9, 15].

Комплексный анализ указанных параметров движений, отражающих уровень скоростно-силовой подготовленности гребца-каноиста, позволяет определять индивидуально-оптимальные варианты реализации техники гребли. Анализ динамики измеряемых характеристик в рамках отдельных тренировочных заданий, а также между тестами, позволяет выявлять причины недостаточно сбалансированной работы спортсмена и принимать объективные решения для целенаправленной коррекции тренировочного процесса с использованием приемов обратной связи, позволяющей поддерживать оптимальные режимы работы гребцов с точки зрения достигаемого результата и затрачиваемых усилий [7, 20].

Проверка эффективности методики контроля и оценки скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов по результатам проведенного педагогического эксперимента показала существенное (статистически значимое) улучшение ключевых скоростно-силовых показателей спортсменов на гребных эргометрах (результативности, выраженной величиной пройденного пути за время выполнения упражнения; мощности гребка в опорной части; эффективности гребли) и в естественных условиях гребли (результативности, выраженной величиной времени преодоления дистанции; производительности гребли с точки зрения величины развиваемых на лопасти весла усилий и скоростно-силового индекса; пропульсивной эффективности гребка, выраженной параметром плотности).

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

Разработанная методика применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов может использоваться на всех этапах тренировочного процесса, а также может быть адаптирована для других гребных дисциплин. Это возможно благодаря универсальности и высокому функционалу применяемых измерительных устройств. Предлагаемые средства позволяют под разными ракурсами оценивать уровень скоростно-силовой подготовленности спортсменов и устанавливать причинно-следственные связи между основными параметрами движений, характеризующими эффективность движений при взаимодействии с веслом в условиях естественной

гребли и при выполнении упражнений на гребных эргометрах, а также рациональность организации работы нервно-мышечной системы.

Данные индивидуальной динамики развиваемых усилий на лопасти весла позволяют судить об эффективности выполнения опорной части гребка (характеризуется плотностью гребка), а также оценить способность к дифференцированию усилий от гребка к гребку (характеризуется коэффициентами стабильности пиковых и средних значений нагрузки на лопасти весла).

Качественный анализ тензограмм по форме кривой позволяет в режиме реального времени вносить изменения в кинематическую структуру движений гребца с целью повышения их производительности.

С помощью данных, характеризующих динамику биоэлектрической активности мышц на этапах многолетней подготовки спортсменов, возможно выявить изменения в технике выполнения основного соревновательного упражнения. Совокупно анализируя данные, характеризующие биомеханические и физиологические параметры движений в тестовых заданиях как на гребных эргометрах, так и в естественных условиях гребли, возможно выявлять оптимальное соотношение между производительностью гребли и рациональностью организации нервно-мышечной деятельности спортсмена.

При работе на гребных эргометрах с помощью АПК «Tendo Power Analyzer» возможно оценивать текущий уровень скоростно-силовой подготовленности спортсмена как в момент тестирования, так и в многолетней динамике, а также отрабатывать различные стратегии гребли. Одним из ключевых параметров, характеризующих эффективность проделанной работы, является параметр ЭГ. Анализ динамики данного параметра позволяет выявлять причины недостаточно сбалансированной работы и принимать объективные решения для целенаправленной коррекции. Кроме того, его можно использовать как критерий выбора наиболее результативной стратегии гребли.

Чтобы добиться рациональной нервно-мышечной организации движений предлагается в подготовке спортсменов-гребцов использовать метод беспроводной поверхностной электромиографии с функцией обратной связи, при котором спортсмен помимо собственных мышечных ощущений будет получать информацию о степени активизации интересующей группы мышц, воспринимаемой посредством зрительного или слухового анализаторов. Это позволит повысить объективность принятия решения при коррекции движений благодаря получению расширенной информации о напряжении мышц в определенной области и определенный момент времени. Наличие обратной связи облегчит обучение способности контролируемого напряжения и расслабления мышц, а также будет применимо в оценке стабильности двигательного стереотипа в динамике выполнения гребков. При использовании такого тренинга значения желаемых физиологических сигналов устанавливаются на уровне достижимых целевых значений по результатам тестирования, которые изменяются по мере развития навыка саморегуляции спортсмена.

## 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. Алгоритм анализа мощности движений спортсменов-гребцов в заданиях скоростно-силовой направленности / В. Е. Васюк, Д. А. Лукашевич, П. И. Мудрагель // Мир спорта. – 2021. – № 2 (83). – С. 24–29.
2. Лукашевич, Д. А. Возможности использования технических средств в оценке мощности движений спортсменов-гребцов / Д. А. Лукашевич, Д. И. Гусейнов, А. В. Минченя // Ученые записки. – 2018. – № 21. – С. 116–126.
3. Лукашевич, Д. А. Информационно-тренажерные технологии в подготовке спортсменов-гребцов / Д. А. Лукашевич, Д. И. Гусейнов // Мир спорта. – 2019. – № 2 (75). – С. 44–49.
4. Лукашевич, Д. А. Использование интеллектуальных систем для подбора индивидуального весла в гребле на каноэ / Д. А. Лукашевич, Д. И. Гусейнов // Прикладная спортивная наука. – 2019. – № 1 (9). – С. 18–25.
5. Лукашевич, Д. А. Метод электромиографии в оценке рациональности движений спортсменов-гребцов / Д. А. Лукашевич // Ученые записки. – 2019. – № 22. – С. 271–279.
6. Лукашевич, Д. А. Полипараметрический анализ движений спортсменов в тестах на гребных эргометрах и в естественных условиях управляемой среды / Д. А. Лукашевич // Ученые записки. – 2021. – № 24. – С. 41–52.
7. Лукашевич, Д. А. Развитие силы ведущих групп мышц спортсменов-гребцов с использованием биологической обратной связи / Д. А. Лукашевич, В. Е. Васюк // Мир спорта. – 2018. – № 1 (70). – С. 21–25.

Статьи в журналах, научных сборниках  
и материалах научных конференций

8. Васюк, В. Е. Использование дистанционной электромиографии в коррекции двигательных действий спортсменов-гребцов / В. Е. Васюк, Д. А. Лукашевич // Олимпийский спорт и спорт для всех: сб. науч. тр., представленных на XXIV Междунар. науч. конгр. – Казань: Поволжская ГАФКСиТ. – 2020. – С. 622–625.
9. Гусейнов, Д. И. Алгоритм оценки динамических параметров гребковых движений в гребле / Д. И. Гусейнов, Д. А. Лукашевич // Новые направления развития приборостроения: материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов, 17–19 апр. 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: О. К. Гусев (пред. редкол.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 374–375.
10. Гусейнов, Д. И. Теоретические подходы к обоснованию положения тензометрических элементов на древке весла для каноэ / Д. И. Гусейнов, Д. А. Лукашевич // День спортивной информатики: материалы III науч.-практ. конф., Москва, 3–4 дек. 2019 г. / ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта, ред. Е. А. Тимме, С. Г. Руднев. – М., 2019. – С. 60–64.

11. Лукашевич, Д. А. Инновационные цифровые технологии в научно-методическом сопровождении подготовки спортсменов-ребцов / Д. А. Лукашевич // День спортивной информатики : материалы III науч.-практ. конф., Москва, 3–4 дек. 2019 г. / ГКУ «ЦСТиСК» Москомспорта, ред. Е. А. Тимме, С. Г. Руднев – М., 2019. – С. 79–81.

12. Лукашевич, Д. А. Методика оценки воздействия тренировочной нагрузки на ведущие группы мышц спортсменов-ребцов / Д. А. Лукашевич, Н. А. Парамонова // Ценности, традиции и новации современного спорта : материалы Междунар. науч. конгр., 18–20 апр. 2018 г. : в 2 ч. / М-во спорта и туризма Респ. Беларусь, Нац. олимп. ком. Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол.: С. Б. Репкин [и др.]. – Минск, 2018. – Ч. 1. – С. 147–148.

13. Лукашевич, Д. А. Нормирование тренировочных нагрузок в гребле на основе использования технических средств / Д. А. Лукашевич, Д. И. Гусейнов // Физическая культура, спорт и туризм: достижения теории и практики на современном этапе : материалы III науч.-практ. конф., Минск, 15–16 нояб. 2019 г. / БГПУ ; редкол.: А. Р. Борисевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С. 128–131.

14. Лукашевич, Д. А. Педагогические требования к проектированию и применению интеллектуальных систем для оценки и контроля скоростно-силовой подготовленности ребцов-каноистов / Д. А. Лукашевич // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., Респ. Беларусь, Минск, 21 окт. 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: И. В. Бельский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 66–72.

15. Лукашевич, Д. А. Эффективность методики применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в подготовке ребцов-каноистов / Д. А. Лукашевич // Новые направления развития приборостроения : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов, Минск, 20–22 апр. 2022 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2022. – С. 227–229.

16. Экспериментальное обоснование применения интеллектуальных сенсорных систем в оценке биомеханических параметров спортивных движений / В. Е. Васюк, Д. А. Лукашевич [и др.] // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 24, № 3. – С. 300–311.

17. Kanoist movement performance assessment based on the spatial reconstruction of the stroke / **D. Lukashevich** [et al.] // Abstracts from the 17th Annual Convention and International Conference of the International Network of Sport and Health Science: St. Petersburg, Russia. 27–29 May 2021. – P. S2100–S2101.

18. Lukashevich, D. A. Experimental substantiation of special training simulators application during canoeists' training process / D. A. Lukashevich // Sporto mokslas. – 2017. – № 3 (89). – P. 40–46.

19. Smart sensors for estimation of power interaction of an athlete with water surface when paddling in the cycle of rowing locomotions / **D. A. Lukashevich** [et al.] // Journal of Complexity in Health Sciences. – 2020. – Vol. 3, Issue 1. – P. 81–90.

## Заявка на патент

20. Способ повышения скоростно-силовой выносливости спортсменов и система для его осуществления [Электронный ресурс] : заявка а 20200169 Республика Беларусь / Д. А. Лукашевич, В. Е. Васюк, Д. И. Гусейнов, А. С. Дорожко. – Дата подачи заявки: 12.06.2020. – Режим доступа: <https://нчис.бел/upload/iblock/17f/17f9c5ee4d37eabbd999bd38bea50278.pdf>. – Дата доступа: 28.02.2022.

Лукашэвіч Дзмітрый Анатольевіч

## КАНТРОЛЬ ХУТКАСНА-СІЛАВОЙ ПАДРЫХТАВАНАСЦІ ВЕСЛЯРОЎ-КАНАІСТАЎ НА АСНОВЕ ПРЫМЯНЕННЯ МАБІЛЬНЫХ АПАРАТНА-ПРАГРАМНЫХ СРОДКАЎ З ЗВАРОТНАЙ СУВЯЗЬЮ

**Ключавыя словы:** інтэлектуальны датчык, дынамічныя параметры рухаў, электраміяграфія, вядучыя групы цягліц, алгарытм аўтаматызаванага аналізу, педагагічныя патрабаванні.

**Мэта даследавання:** тэарэтыка-эксперыментальнае абгрунтаванне кантролю хуткасна-сілавой падрыхтаванасці весляроў-канаістаў на аснове прымянення мабільных апаратна-праграмных сродкаў з зваротнай сувяззю.

**Метады даследавання:** аналіз навукова-метадычнай літаратуры; педагагічны эксперымент; педагагічнае тэставанне; кампутарны аналіз магутнасці рухаў; электраміяграфія; тензаметрыя; метады матэматычнай статыстыкі.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** абгрунтаваны падыход да комплекснай рэгістрацыі кінематычных, дынамічных, энергетычных і фізіялагічных характарыстык рухаў спартсменаў пры выкананні практыкаванняў на вяслярных эргометрах і ў натуральных умовах веславання; распрацаваны спосаб выяўлення ступені ўдзелу вядучых груп цягліц высокакваліфікаваных спартсменаў у практыкаваннях на вяслярных эргометрах і ў натуральных умовах веславання; з выкарыстаннем распрацаваных інтэлектуальных датчыкаў вызначаны дынамічныя і кінематычныя параметры, якія характарызуюць прадукцыйнасць і эфектыўнасць рухаў весляроў-канаістаў; распрацаваны алгарытмы аўтаматызаванага аналізу біямеханічных параметраў, якія характарызуюць хуткасна-сілавую падрыхтаванасць спартсменаў пры выкананні заданняў на вяслярных эргометрах і пры ўзаемадзеянні з вяслом у натуральных умовах веславання; сфармуляваны педагагічныя патрабаванні да праектавання і прымянення розных па прызначэнні мабільных апаратна-праграмных сродкаў з зваротнай сувяззю ў ацэнцы і кантролі хуткасна-сілавой падрыхтаванасці весляроў.

**Ступень выкарыстання:** вынікі даследавання выкарыстоўваюцца ў этапных тэставаннях спартсменаў нацыянальнай каманды Рэспублікі Беларусь па веславанні на байдарках і каноэ.

**Вобласць прымянення:** у вучэбна-трэніровачным працэсе спецыялізаваных вучэбна-спартыўных устаноў па веславанні на байдарках і каноэ, нацыянальных і зборных каманд Рэспублікі Беларусь па веславанні на байдарках і каноэ; у адукацыйным працэсе ўстаноў вышэйшай і дадатковай адукацыі дарослых пры падрыхтоўцы і павышэнні кваліфікацыі трэнераў па вяслярных відах спорту.

## Резюме

Лукашевич Дмитрий Анатольевич

### **КОНТРОЛЬ СКОРОСТНО-СИЛОВОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ГРЕБЦОВ-КАНОИСТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

**Ключевые слова:** интеллектуальный датчик, динамические параметры движений, электромиография, ведущие группы мышц, алгоритм автоматизированного анализа, педагогические требования.

**Цель исследования:** теоретико-экспериментальное обоснование контроля скоростно-силовой подготовленности гребцов-каноистов на основе применения мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью.

**Методы исследования:** анализ научно-методической литературы; педагогический эксперимент; педагогическое тестирование; компьютерный анализ мощности движений; электромиография; тензометрия; методы математической статистики.

**Полученные результаты и их новизна:** обоснован подход к комплексной регистрации кинематических, динамических, энергетических и физиологических характеристик движений спортсменов при выполнении упражнений на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли; разработан способ выявления степени участия ведущих групп мышц высококвалифицированных спортсменов в упражнениях на гребных эргометрах и в естественных условиях гребли; с использованием разработанных интеллектуальных датчиков определены динамические и кинематические параметры, характеризующие производительность и эффективность движений гребцов-каноистов; разработаны алгоритмы автоматизированного анализа биомеханических параметров, характеризующих скоростно-силовую подготовленность спортсменов при выполнении заданий на гребных эргометрах и при взаимодействии с веслом в естественных условиях гребли; сформулированы педагогические требования к проектированию и применению различных по назначению мобильных аппаратно-программных средств с обратной связью в оценке и контроле скоростно-силовой подготовленности гребцов.

**Степень использования:** результаты исследования используются в этапных тестированиях спортсменов национальной команды Республики Беларусь по гребле на байдарках и каноэ.

**Область применения:** в учебно-тренировочном процессе специализированных учебно-спортивных учреждений по гребле на байдарках и каноэ, национальных и сборных команд Республики Беларусь по гребле на байдарках и каноэ; в образовательном процессе учреждений высшего и дополнительного образования взрослых при подготовке и повышении квалификации тренеров по гребным видам спорта.

## Resume

**Lukashevich Dmitry Anatolyevich**

### **CONTROL OF SPEED AND STRENGTH TRAINING OF ROWERS-CANOEISTS BASED ON THE USE OF MOBILE HARDWARE AND SOFTWARE WITH FEEDBACK**

**Keywords:** intelligent sensor, dynamic parameters of movements, electromyography, leading muscle groups, automated analysis algorithm, pedagogical requirements.

**The purpose of the study:** theoretical and experimental substantiation of the control of speed and strength training of rowers-canoeists based on the use of mobile hardware and software with feedback.

**Research methods:** analysis of scientific and methodological literature; pedagogical testing; computer analysis of the power of movements; electromyography; tensometry; methods of mathematical statistics.

**The results obtained and their novelty:** the approach to the complex registration of kinematic, dynamic, energetic and physiological characteristics of athletes' movements when performing exercises on rowing ergometers and in natural conditions of rowing is substantiated; a method is developed to identify the degree of participation of the leading muscle groups of highly qualified athletes in exercises on rowing ergometers and in natural conditions of rowing; a method has been developed to identify the degree of participation of the leading muscle groups of highly qualified athletes in exercises on rowing ergometers and in natural conditions of rowing; using the developed intelligent sensors, dynamic and kinematic parameters characterizing the performance and efficiency of the movements of rowing canoeists were determined; algorithms of automated analysis of biomechanical parameters characterizing the speed and strength fitness of athletes when performing tasks on rowing ergometers and when interacting with a paddle in natural conditions of rowing have been developed; the pedagogical requirements for the design and application of various mobile hardware and software with feedback in the assessment and control of speed and strength training of rowers are formulated.

**Degree of use:** the results of the study are used in stage testing of athletes of the national team of the Republic of Belarus in kayaking and canoeing.

**Scope of application:** in the educational and training process of specialized educational and sports institutions in kayaking and canoeing, national and national teams of the Republic of Belarus in kayaking and canoeing; in the educational process of institutions of higher education and additional adult education in the preparation and advanced training of coaches in rowing sports.





Подписано в печать 12.10.2022. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 2,00. Тираж 60 экз. Заказ 61.

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.