

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ, СПОРТА И ЗДОРОВЬЯ ИМЕНИ П.Ф.  
ЛЕСГАФТА, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

На правах рукописи

ВИНОГРАДОВ ЕВГЕНИЙ ОЛЕГОВИЧ

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ ПЛАВАНИЯ КРОЛИСТОВ  
ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОЙ ОЦЕНКИ  
БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА

13.00.04 - Теория и методика физического воспитания, спортивной  
тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры (пе-  
дагогические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата педагогических наук

Научный руководитель:

доктор педагогических наук

профессор А.И. Крылов

САНКТ - ПЕТЕРБУРГ - 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПЛОВЦОВ..	14
1.1 Современные подходы к оценке биомеханических характеристик техники плавания .....	14
1.2 Кинематические характеристики техники плавания и методы их исследования .....	16
1.3 Динамические характеристики продвижений пловца в воде и методики их измерений .....	25
1.4 Энергетические затраты и особенности техники плавания .....	45
1.5 Биологические характеристики движений пловца .....	56
1.6 Заключение по первой главе .....	67
ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	69
2.1 Организация исследования.....	69
2.2 Методы исследования .....	70
2.2.1 Обзор и анализ научной литературы .....	70
2.2.2 Педагогическое наблюдение.....	71
2.2.3 Проектирование .....	71
2.2.4 Педагогический эксперимент .....	72
2.2.5 Метод сбора и обработки текущей информации.....	73
2.2.6 Анализ и обобщение авторского опыта работы .....	79

2.2.7 Методы математической обработки материалов с их последующей интерпретацией .....	80
<b>ГЛАВА 3 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ ПЛАВАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОЙ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....</b>	<b>81</b>
3.1 Оценка колебаний внутрицикловой скорости с использованием коэффициента гидродинамической добротности.....	81
3.2 Разработка динамической структуры двигательного цикла пловцов-кролистов .....	83
3.3 Оценка эффективности техники плавания на основе взаимосвязи кинематических и динамических характеристик техники плавания .....	91
3.4 Заключение по третьей главе.....	95
<b>ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ ПЛАВАНИЯ КРОЛИСТОВ ВЫСКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОЙ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА .....</b>	<b>98</b>
4.1 Цель, задачи и содержание методики коррекции техники плавания кролем на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.....	98
4.2 Исследования эффективности методики коррекции техники плавания на основе оценки кинематических и динамических характеристик плавательного цикла .....	109
4.3 Заключение по четвертой главе.....	121
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>122</b>
<b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>126</b>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акты внедрения.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Показатели исследуемых внутрицикловых характеристик техники плавания, полученных по результатам компьютерного видеоанализа одного из проплывов.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ В Базовый комплекс упражнений на воде с вариантами выполнения и дозировкой.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплывании максимальным темпом до и после эксперимента.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплыве темпом на 1500м. до и после эксперимента.....	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплывании с заданной скоростью на 200м. до и после эксперимента.....	162

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** В настоящий момент в спортивном плавании существует ряд эффективных методик коррекции техники плавания с использованием оценки кинематических или динамических характеристик гребка. Однако, как отмечает Э. Маглишко, в последнее время многие специалисты в спортивном плавании небезосновательно считают, что снижение сопротивления в большей степени влияет на повышение скорости плавания, чем усилия, создаваемые пловцом при продвижении в воде (*Maglisco E.W. Swimming Fastest. 3ed. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, 2002. P. 44*).

Так исследования с участием элитных пловцов показали, что продвигающие усилия, создаваемые спортсменами высокой квалификации, ненамного больше, чем у менее квалифицированных. Тем не менее, более совершенные технические навыки пловцов высокого класса повышают обтекаемость тела и позволяют им плавать быстрее, прилагая такие же усилия, как и менее подготовленные спортсмены (*Capparet J.M., Peaseand D.L. Troup J.P. Biomechanical highlights of world champion and Olympic swimmers // Biomechanics and Medicine in Swimming VII. NewYork : E & FN Spon. P. 76–80*).

Вышесказанное обуславливает необходимость изучения взаимосвязи кинематических и динамических характеристик в едином цикле плавательных локомоций. Это определяет возможность поиска оптимальных вариантов структуры системы движений конкретных спортсменов с учетом переменных факторов, отражающих специфику тренировочного процесса, особенностей внешней среды, возможностей использования педагогических средств и методов коррекции спортивной техники (*Аришин А.В., Погребной А.И. Коррекция кинематических характеристик гребка высококвалифицированных пловцов // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3 : Педагогика и психология. 2016. № 12 (178). С. 103–108*).

Основу общей теории водных спортивных локомоций (В.Б. Иссурин, 1985) составляют концепции пространственного построения гребка и его фазового состава, пропульсивного механизма гребка, противодействия

внешних сил и нестационарности поступательного движения. С одной стороны, во всех водных локомоциях, пропульсивный механизм гребка обеспечивается созданием силы упора движителя (кисть, лопасть) за счет совокупного действия гидродинамической подъемной силы и лобового сопротивления. С другой стороны, на продвигающихся в воде действует гидродинамическое сопротивление, которое увеличивается вследствие рабочих движений спортсмена по сравнению с равномерной буксировкой. Причем, по мнению авторов, эти показатели в различных видах спорта отличаются в значительной степени. Если для гребли эта прибавка составляет около 15 - 22%, то при плавании она может достигать до 100 % (*Иссурин В.Б. Основы общей теории водных спортивных локомоций // Теория и практика физ. культуры. 1985. № 8. С. 44–47*).

Так, по мнению А.И. Погребного (1997), силы, возникающие при движениях рук и ног пловца в воде, представляют результат сложного взаимодействия тел с водой и поэтому рассматривать их необходимо с учетом законов гидродинамики, а дальнейшие исследования кинематических и динамических параметров техники плавания позволят в будущем глубже раскрыть роль лабильных и консервативных элементов в процессе индивидуального развития техники (*Погребной А.И. Научно-педагогические основы обучения плаванию в школьном возрасте : дис. ... д-ра. пед. наук. Краснодар, 1997. 370 с.*).

Необходимость дополнения существующих технологий кинематического анализа плавания человека экспериментальными динамическими характеристиками, по мнению С.В. Колмогорова (*Колмогоров С.В. Кинематические и динамические характеристики установившегося нестационарного движения элитных пловцов // Российский журнал биомеханики. 2008. Т. 12, № 4 (42). С. 59–74*), сформировалась достаточно давно. Однако отсутствие эффективных методик не позволяет определить количественно реальные внутрицикловые продвигающие силы и силы гидродинамического сопротивления, возникающие на уровне целостной биомеханической системы водных локомоций человека и сопоставить эти динамические характеристики с

ключевыми кинематическими, т.е. внутрицикловыми показателями скорости и ускорения.

Вместе с этим, как отмечает К. Колвин, решение этих проблем невозможно без изучения взаимного влияния динамических механизмов гребка и водной среды и лежит в проведении исследований с использованием смежных наук: биомеханики и гидродинамики (*Colwin C. Breakthrough swimming. Champaign : Human Kinetics, 2002. P.76*).

Все вышесказанное дает основание для проведения исследований по изучению связей и взаимного влияния кинематических и динамических характеристик техники плавания в рамках плавательного цикла.

**Проблемная ситуация** заключается в противоречиях:

- с одной стороны, наблюдается достижение пика объемов и интенсивности тренировочных нагрузок, а с другой, возрастающая конкуренция обуславливает разработку новых научных и методических подходов для дальнейшего роста спортивных результатов;

- с одной стороны, всесторонние исследования обеспечили научно-теоретическую базу для бурного роста спортивных результатов в плавании за последние годы, а с другой, возникновение современных теорий и концепций в подготовке пловцов с использованием смежных наук требуют адаптации этих исследований в тренировочной практике;

- с одной стороны, проведение лабораторных и аппаратурных исследований в воде сталкиваются с объективными трудностями, обусловленными свойствами водной среды, а с другой, создание современных методов видео регистрации и использование компьютерной вычислительной техники позволяют получать более точные и объективные данные для управления тренировочным процессом пловцов.

**Степень разработанности темы исследования.** Научно-педагогическим проблемам повышения эффективности технической подготовки пловцов были посвящены исследования многих известных отечественных и зарубежных специалистов в области спортивного плавания:

Т.М. Абсалямова, В.В. Белковского, Н.Ж. Булгаковой, Н.А. Бутовича, С.М. Вайцеховского, В.Б. Исурина, В.Н. Платонова, Д.Ф. Мосунова, А.И. Погребного, В.А. Парфенова, С.В. Колмогорова, Е.А. Ширковца, С.М. Койгерова, Е.И. Иванченко, Г.А. Гилева, М.М. Булатовой, Б.И. Оноприенко, И.Л. Гончара, Р.Б. Хальянда, Б.Н. Фомиченко, В.С. Фарфеля, Т.С. Тимаковой, J.E. Counsilmen, E.W. Maglischo, C.M. Colwin). Однако проведенные исследования не в полной мере раскрывают проблему взаимодействия пропульсивных механизмов и сил гидродинамического сопротивления при поступательном движении пловца в спортивном плавании.

**Объект исследования:** техническая подготовка пловцов высокой квалификации.

**Предмет исследования:** методика коррекции техники плавания на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.

**Цель исследования:** теоретически разработать и экспериментально обосновать методику коррекции техники спортивных способов плавания на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.

**Гипотеза исследования** строилась на предположении о том, что техническая подготовка пловца будет эффективной при использовании индивидуально направленных комплексов упражнений, применяемых по результатам оценки техники плавания, которая проводится с учетом особенностей взаимодействия биомеханических и гидродинамических характеристик плавательного цикла.



### **Задачи исследования:**

1. Выявить современные направления и методики оценки эффективности технической подготовки пловцов высокой квалификации.
2. Научно обосновать критерии оценки колебаний внутрицикловых характеристик цикла плавательных локомоций на основе использования современных технических и компьютерных средств.
3. Разработать методику коррекции техники спортивных способов плавания на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.

**Методы исследования** определялись многоплановостью исследовательских задач. Комплекс методов включал в себя: обзор и анализ научной литературы; педагогическое наблюдение; проектирование; педагогический эксперимент; метод сбора и обработки текущей информации; анализ и обобщение авторского опыта работы; методы математической обработки результатов исследования, с последующей их логической интерпретацией.

**Организация исследования.** Для решения поставленных задач работа проводилась в четыре этапа.

На первом этапе исследования проведен анализ и обобщение данных научно-методической литературы по изучаемой проблеме; вскрыты противоречия, обуславливающие необходимость разработки современных методик контроля и коррекции техники плавания, позволившие сформулировать проблему, гипотезу, цель и задачи настоящего исследования; выбраны методы исследования, наиболее адекватно решающие поставленные задачи.

На втором этапе исследования был проведен формирующий педагогический эксперимент, который позволил научно обосновать критерии оценки колебаний внутрицикловых характеристик цикла плавательных локомоций. По результатам этого этапа были разработаны: Коэффициент гидродинамической добротности (КГДм) и Индекс динамической

эффективности (ИДЭ) для анализа изменений кинематических и динамических характеристик в технике плавания.

На третьем этапе исследования было осуществлено проектирование методики коррекции техники плавания кролистов с использованием разработанных показателей, организован и проведен констатирующий эксперимент по обоснованию эффективности применения данной методики в спортивной тренировке пловцов высокого класса.

На четвертом этапе исследования была систематизирована вся полученная информация и проведено литературное оформление диссертационной работы.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Структура плавательного цикла, определяемая продолжительностью и динамикой ускоряющей фазы и замедляющих фаз пассивного и активного торможения должна рассматриваться в единстве биомеханических и гидродинамических характеристик, совокупность которых определяет эффективность продвижения пловца.

2. Оценка взаимодействия внутри плавательного цикла продвигающих сил и сил гидродинамического сопротивления относительно кинематических характеристик гребка определяет индивидуальные резервы техники плавания с целью их дальнейшей коррекции.

3. Показатель «Динамический Индекс Эффективности» определяет направленность и количественные изменения характеристик техники плавания в процессе ее коррекции.

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

- конкретизированы положения о взаимодействии пропульсивных сил, генерируемых пловцом, и гидродинамических сил сопротивления в цикле плавательных локомоций;

- научно-обоснована фазовая динамическая структура плавательного цикла;

- получены данные, обуславливающие внутрицикловые колебания кинематических характеристик при изменении динамической структуры плавательного цикла;

- разработана система подводной видеорегистрации с последующей компьютерной обработкой данных для получения динамических и кинематических характеристик цикла плавательных локомоций;

- научно-обоснована методика оперативной оценки колебаний внутрицикловых характеристик плавательного цикла всех спортивных способов плавания;

- разработана и экспериментально доказана методика коррекции техники спортивных способов плавания на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в дополнении теории и методики спортивного плавания научными данными, которые позволяют:

- расширить существующие представления о возможностях контроля и управления технической подготовкой пловцов;

- определить условия для дальнейшего роста спортивных результатов в плавании за счет оптимизации параметров тренировочной нагрузки;

- конкретизировать понятие «внутрицикловые колебания характеристик плавательного цикла»;

- подтвердить данные об изменениях механизмов продвигающих сил в различных динамических фазах гребка;

**Практическая значимость** работы заключается в том, что в ходе проведенных исследований:

- разработана эффективная методика коррекция техники плавания с использованием современных методов оценки технических характеристик плавательного цикла;

- выработаны практические рекомендации для повышения качества учебно-тренировочного процесса с пловцами высокой квалификации.

### **Теоретико-методологической основой исследования составили:**

- в теории и методике физической культуры и системы подготовки спортсменов в олимпийском спорте (В.А.Таймазов,1987; В.У. Агеевец, 1989; Г.П. Виноградов, 1998; С.Е. Бакулев, 2012; Л.П. Матвеев, 2003; Ю.Ф. Курамшин, 2007; В.Н. Платонов, 2004; В.Б. Иссурин, 2016; Ю.В. Верхошанский, 1991);

- в теории и методике спортивной подготовки пловцов (С.М. Вайцеховский 1985; Н.А. Бутович, 1965; С.М. Гордон, 1965; Н.Ж. Булгакова, 1980; Т. М. Абсалямов, 1983; Е.А. Ширковец, 1995; J.E. Counsilmen, 1968; E.W. Maglischo, 2003);

- в совершенствовании технической и специальной подготовки пловцов (Д.Ф. Мосунов, 1992; А.В. Козлов, 1982; С.В. Койгеров, 1982; Р.Б. Хальянд, 1985; Клешнева, 1993; Г.А. Гилев, 1998);

- научно-теоретические основы биомеханики спорта и спортивного плавания (А.В. Самсонова, 1998; И.М. Козлов, 1984; Э.Ю. Мароти, 1978; С.В. Колмогоров, 1996; А.И. Погребной, 1997; Иссурин В.Б., 1989).

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов обеспечивается применением комплекса информативных и надежных методов исследования, широтой эмпирической базы, логикой построения и продолжительностью исследования, корректной интерпретацией полученных данных, апробацией результатов исследования на научно-методических конференциях и в естественных условиях учебно-тренировочного процесса, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

**Личный вклад автора** заключается в определении и формулировке научной проблемы, обосновании темы, подборе основного методологического аппарата и комплекса методов исследования, самостоятельном проведении исследований, организации апробации и внедрения результатов в практику, подготовке текста диссертации, автореферата и публикаций.

**Апробация и внедрение результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано в 9 печатных работах, 6 статей представлены в

рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья представлена в зарубежном рецензируемом научном издании. Результаты исследования апробированы и внедрены в учебно-тренировочный процесс и подтверждены актами внедрения:

- Лекционный курс: Методы срочного контроля и инновационные подходы анализа технической подготовки пловцов-кролистов высокого класса в университете ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф. Лесгафта», Санкт-Петербург

- Последовательность и особенности освоения технических элементов на основе учёта индивидуальных динамических характеристик и внутрицикловых колебаний скорости в ГБУ СШ "Дельфин"

- Изучение индивидуальных динамических характеристик на основе внутрицикловой скорости пловцов-спинистов в категории "Мастерс" в спортивном клубе "Невские звезды".

# ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПЛОВЦОВ

## 1.1 Современные подходы к оценке биомеханических характеристик техники плавания

Биомеханический анализ движений человека, по мнению А.В. Самсоновой, всегда начинается с определения различных характеристик движущегося тела. Этими характеристиками могут быть как механические характеристики (например, перемещение, скорость, ускорение), так и биологические характеристики (сила тяги мышцы, время суммарной электрической активности мышцы). Некоторые из этих характеристик определяются экспериментально, а остальные - расчетным путем (*Попов Г.И., Самсонова А.В. Биомеханика двигательной деятельности : учебник. 2-е изд., стер. М. : Академия, 2013. 320 с.*).

Максимальную скорость, которую развивает человек в воде значительно ниже по сравнению со скоростными возможностями обитателей водной среды, а максимальная скорость пловца около 2 м/сек составляет лишь 16% от максимальной скорости бегуна.

Очевидно, что люди по своему морфофункциональному строению не подходят для высокоскоростного плавания, тем актуальнее представляется задача с биомеханической точки зрения рассмотреть вопрос, какие факторы определяют или способствуют достижению максимальных результатов в спортивном плавании.

Вместе с тем, сущность спортивной тренировки в единстве всех ее составляющих: физической, технической, тактической, психологической и интеллектуальной подготовки (*Иссурин В.Б. Подготовка спортсменов XXI века: научные основы и построение тренировки. М. : Спорт, 2016. 464 с.*).

Однако, по мнению Э. Маглишко, тренировка пловца будет более направленного действия, если установить слабые звенья в цепи факторов, определяющих результат в спортивном плавании (*Maglisco E.W. Swimming Faster.*

*Palo Alto : Mayfield Publishing Cy, 1982.472 p.*), а также использовать анализ соревновательной деятельности пловцов на различных дистанциях (Платонов В.Н. *Плавание. Киев : Олимп. лит., 2000. 497 с.*).

С другой стороны, это может привести и к тому, что эффективной формой тренировки в плавании будет считаться только участие в соревнованиях, когда под воздействием соревновательных нагрузок совершенствуются те или иные стороны спортивной подготовленности, которые обеспечивают высокий результат в данной плавательной дисциплине (Costill D.L., Maglischo E.W., Richardson A.B. *Handbook of sports medicine and science. Swimming. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1992. 214 p.*).

Но, вместе с тем, по мнению перечисленных авторов, отсутствие целенаправленного комплексного развития всех сторон подготовленности может привести, в конечном итоге, к замедлению и прекращению роста спортивного результата. Поэтому на каждом этапе многолетней подготовки пловца необходимо не только выделять основные факторы, влияющие на спортивный результат, но и определять эту связь со всеми остальными сторонами спортивной подготовленности (Платонов В.Н. *Спортивное плавание: путь к успеху: в 2 кн. Киев : Олимп. лит., 2011*).

Спортивное плавание является одним из самых сложных видов спорта для проведения научных исследований. Изучение движений человека, по мнению Т. Барбоза, представляет собой ряд сложных проблем, потому что люди не такие детерминисты, как другие (био)механические системы; но еще более сложной задачей становится биомеханический анализ движения людей в водной среде (*Biomechanics of Competitive. Swimming Strokes / Tiago M. Barbosa, Daniel A. Marinho, Mario J. Costa, Antonio Jose Silva // Biomechanics in Applications. 2011*).

В настоящее время предпринимаются попытки понять связь между всеми этими переменными и на основе этого повысить результативность в спортивном плавании.

Некоторые модели этих взаимодействий уже находятся в распоряжении тренеров и спортсменов. Их результативность обуславливает

проведение дальнейших исследований для оценки, сравнения и управления этими переменными, чтобы определить цели, установить задачи в программе периодизации или даже предсказать результаты пловцов.

## 1.2 Кинематические характеристики техники плавания и методы их исследования

Изучение взаимодействия человека с водной средой во время плавания насчитывает более чем 100-летнюю историю и ведет начало от работ Дю Буа Реймонда (*Reymond Du Bua Arch. f. Anatomy und Physiol. 1905. V. 22, 252 s.*) и Д. Амара (*Ama Jules The human motor; or, The scientific foundations of labour and industry. London, Routledge, 1920*). В этом ряду необходимо отметить американского ученого русского происхождения П. Карповича, который внес большой вклад в разработку методов и методик изучения биомеханики плавания (*Karpovich P. Swimming Speed Analyzed // Scientific American. 1930. March. P. 234–235 ; Karpovich P. Water resistance in swimming // Research Quarterly. 1933. V. 4. P. 21–28 ; Крылов А.И., Бумов А.А. Восстановить связь поколений // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2012. № 11 (93). С. 66–74*).

Значительное увеличение зарубежных научных исследований в спортивном плавании было отмечено в 70-е годы прошлого века, которое сохраняется и в настоящее время (*Иссурин В.Б. Направления и результаты зарубежных исследований по плаванию // Теория и практика физ. культуры. 1975. № 8. С. 65–67; Его же. Диссертационные исследования в США // Плавание. М. : Физкультура и спорт, 1975. Вып. 1. С 30–31*).

Большая часть этих исследований посвящена изучению кинематики гребковых движений, плавательного цикла как единого двигательного действия, кинематике движений отдельных частей тела пловца, кинематике движений точек, отмеченных на теле пловца, таких как отметка в районе тазобедренного сустава и центра масс пловца (*The Evolution of Swimming Science Research: Content analysis of the “Biomechanics and Medicine in Swimming” Proceedings Books from 1971 to 2006 / T.M. Barbosa, E. Pinto, A.M. Cruz, D.A. Marinho, A.J. Silva, V.M. Reis,*



*M.J. Costa, T.M. Queiros // Biomechanics and Medicine in Swimming XI / P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, J. Cabri (Eds.). 2010. P. 312–314).*

Необходимо отметить, что отечественные ученые также внесли значительный вклад в изучение основ техники спортивного плавания. К началу этих работ в биомеханике можно отнести исследования Н.А. Бутовича (1946), Врженевского (1954), С.М. Гордона (1958), С.В. Ильина (1961), В.В. Белковского (1963) и многих других (*Бутович Н.А. Биодинамический анализ движений способа плавания кроль и его приложение в методике обучения плаванию и в совершенствовании техники пловцов : дис. ... канд. пед. наук. М., 1946. 91 с. ; Вржесневский И.В. Плавание : учебник. М. : Физкультура и спорт, 1954. 334 с. ; Гордон С.М. Определение направленности и интенсивности основных тренировочных упражнений при плавании вольным стилем // Теория и практика физ. культуры. 1958. Т. XXI. Вып. 7. С. 525–532 ; Ильин С.В. О сопротивлении воды при плавании // Теория и практика физ. культуры. 1961. Т. XXIV. Вып. 5. С. 383–387 ; Белоковский В.В. Исследование и совершенствование некоторых основных характеристик техники плавания кролем : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 1968. 16 с.*)

В середине 60-х годов количество таких исследований в нашей стране значительно увеличилось. Так значительный вклад в понимание закономерностей продвижения человека в воде внесли работы Б.И. Оноприенко (*Оноприенко Б.И. Исследование влияния морфологических особенностей на гидродинамические качества пловцов : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 1968. 23 с. ; Его же. Зависимость сопротивления воды от положения тела пловца // Теория и практика физ. культуры. 1968. № 9. С. 12–15).*

В 70-е годы прошлого века в нашей стране, так же, как и за рубежом, были отмечены самым большим количеством исследований по проблемам биомеханики и техники плавания. Среди них работы В.И. Чудовского, посвященные вопросам биомеханики кроля и значению подъемных сил в спортивном плавании (*Чудовский В.И. Некоторые вопросы биомеханики кроля // Плавание. М. : Физкультура и спорт, 1973. Вып. 1. С. 35 ; Его же. Роль подъемных сил в спортивном плавании // Плавание. М. : Физкультура и спорт, 1975. Вып. 1. С. 42–43*), Д.Ф. Мосунова (*Мосунов Д.Ф. Исследование и совершенствование техники плавания брассом : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Л., 1975. 24 с.*), К.К. Молинского (*Молинский К.К.*

*Применение подготовительных упражнений различного характера в тренировке пловцов : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Л., 1966. 18 с.).*

Большая научно-исследовательская работа проводилась в те годы в лаборатории водных видов спорта Ленинградского научно-исследовательского института физической культуры под руководством В.Б. Иссурина. На основе обобщения данных многолетних авторских исследований техники плавания и гребного спорта В.Б. Иссурин определил, что основные положения общей теории водных спортивных локомоций составляют концепции пространственного построения гребка и его фазового состава, пропульсивного механизма гребка, противодействия внешних сил и нестационарности поступательного движения (*Иссурин В.Б. Основы общей теории водных спортивных локомоций // Теория и практика физ. культуры. 1985. № 8. С. 44–47 ; Его же. Формирование спортивно-технического мастерства в водных циклических видах спорта : автореф. ... дис. д-ра пед. наук. М., 1989. 48 с.).*

Существует несколько биомеханических переменных, определяющих высокие результаты в плавании. Некоторые из них представляют собой переменные кинематики (например, длину гребка, частоту гребка, флуктуацию скорости, кинематику конечностей) и переменные кинетики (например, пропульсивное сопротивление, подъемную силу, силу растяжения), а также нервно - мышечные переменные.

Скорость плавания ( $v$ ) - лучшая переменная для оценки характеристик плавания. На сегодняшний день кроль на груди считается самым быстрым способом плавания, за ним следует баттерфляй, кроль на спине и брасс (*Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition / A. Craig, P. Skehan, J. Pawelczyk, W. Boomer // Medicine and Science Sports Exercise. 1985. № 17. P. 625–634 ; Chengalur S., Brown P. Analysis of male and female Olympic swimmers in the 200 events // Canadian Journal of Sport Science. 1992. № 17. P.104–109).*

Скорость плавания может быть описана его независимыми переменными: длина ( $SL$ ) и частота циклов ( $SF$ ).  $SL$  определяется как горизонтальное расстояние, которое тело перемещается во время полного плавательного цикла.  $SF$  определяется как количество полных циклов,

выполненных за единицу времени (циклы/мин<sup>-1</sup>) или герц (Гц). Увеличение или уменьшение скорости пловца ( $v$ ) определяется комбинированным увеличением или уменьшением  $SF$  и  $SL$  соответственно. Необходимо отметить, что в иностранной литературе встречается иногда подмена понятий, цикл плавания или гребок. В связи с тем, что в цикле плавания кролем как на груди, так и на спине, пловец выполняет 2 гребка (один левой рукой, а другой правой рукой), а при плавании баттерфляем и брассом только один, в нашем исследовании мы будем уточнять, когда имеется в виду длина одного гребка или полного цикла движений пловца (*Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race / H. Toussaint, A. Carol, H. Kranenborg, M. Truijens // Medicine science sports exercise. 2006. № 38. P. 1635–1642 ; Stroke frequency strategies of international and national swimmers in 100-m races / P.L. Kjendlie, R. Haljand, O. Fjortoft, R.K. Stallman // Biomechanics and medicine in swimming X / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (eds.). Porto : Portuguese journal of sport science, 2006. P. 52–54).*

Зависимость между «темпом» и шагом» представлена на Рис. 1. (*Keskinen K.L., Komi P.V., The stroking characteristics in four different exercises in freestyle swimming // Biomechanics XI-B / G. de Groot, P.A. Hollander, P. Huijing & G. van Ingen Schenau (Eds.). Amsterdam : Free University Press, 1988. P. 839–843 ; Biophysics in swimming / D.R. Pendergast, C. Capelli, A.B. Craig, P.E. di Prampero, A.E. Minetti, J. Mollendorf, I.I. Termin, & P. Zamparo // Biomechanics and medicine in swimming X / J.P. Vilas-Boas, F. Alves & A. Marques (eds.). Porto : Portuguese Journal of sport science, 2006. P. 185–189).*

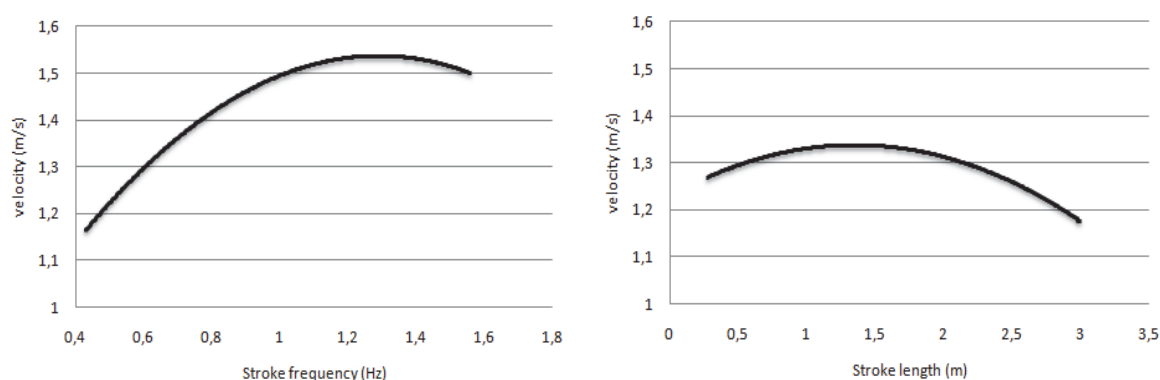


Рисунок 1 – Зависимость между скоростью плавания и частотой гребков (левый график; зависимость между скоростью плавания и длиной гребка (правый график) (*Keskinen, K.L. & Komi, P.V., 1988*).

Согласно исследованиям А. Грейга и Д. Пендергаста самый большой показатель длины шага и частота гребков зафиксирована у пловцов-кролистов. Авторы определили наличие такой же зависимости при плавании на спине, за исключением того, что длина грека, частота гребков в минуту и скорость плавания были меньше, чем для кроля на груди (*Craig A., Pendergast D. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming // Medicine and science sports exercise. 1979. № 11. P. 278–283*).

При преодолении соревновательной дистанции снижение скорости плавания связано, в основном, с уменьшением длины гребков. Изменения частоты гребков на различных отрезках дистанции может меняться, но как правило, на заключительном отрезке она максимальна (*Hay J., Guimaraes A. Aquantitative look at swimming biomechanics // Swimming technique. 1983. № 20. P.11–17 ; Letzelter H., Freitag, W. Stroke leng thand stroke frequency variations in men's and women's 100 m freestyle swimming // Biomechanics and medicine in swimming / Hollander A.P., Huijing P.A., de Groot G., editors. Illinois : Human kinetics publishers, 1983. P. 315–322*).

В процессе исследовании взаимодействия этих параметров при плавании на различных дистанциях было установлено, что скорость плавания и частота гребков снижается при увеличении длины дистанции, а длина гребка остается относительно стабильной (*13<sup>th</sup> FINA World Championship finals stroke kinematics and race times according to performance, gender and event / S. Jesus, M.J. Costa, D.A. Marinho, N.D. Garrido, A.J. Silva, T.M. Barbosa // Proceedings of the International Symposium in Biomechanics of sport / J.P. Vilas-Boas, & A .Veloso, (eds.), Portuguese Journal of Sport Science. 2010 ; Comparative analysis of 100 m and 200 m events in the four strokes in top level swimmers / D. Chollet, P. Pelayo, C. Tourney, M. Sidney // Journal of hum movement studies. 1996. № 31. P. 25–37 ; Cappaert J., Pease D., Troup J. Biomechanical high lights of world champion and Olympic swimmers // Biomechanics and Medicine in Swimming VII / J. Troup, A. Hollander, D. Strasse, S. Trappe, J. Cappaert, T. Trappe (Eds.). London : E & FN SPON, 1996. P. 76–80*).

В связи с этим А. Крйэг и Д. Пендергаст делают предположение о том, что у пловца должен быть максимально высокий уровень *SL*, а изменением скорости он может управлять, изменяя частоту гребков (*Craig A., Pendergast D.*

*Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming // Medicine and Science Sports Exercise. 1979. № 11. P. 278–283).*

Другой кинематической характеристикой, часто используемой для оценки эффективности техники плавания, является *Индекс гребка (SI)*. Этот показатель предполагает, что при заданной скорости плавания пловец с большим *SL* имеет наиболее эффективную технику плавания (*Energy expenditure during front crawl swimming: predicting succes in middle-distance events / D. Costill, J. Kovaleski, D. Porter, R. Fielding, D. King // Journal of sports medicine. 1985. № 6. P. 266–270).*

Установлено, что у пловцов-кролистов самый высокий *Индекс гребка (SI)*, за ними следуют пловцы на спине, баттерфляем и брасом. В следствие этого, кроль признан самым быстрым и эффективным способом плавания, и этот стиль используют пловцы - марафонцы на открытой воде (*Sánchez J., Arellano R. Stroke in dex values according to level, gender, swimming style and event race distance // Proccedings of the XXth International Symposyum in biomechanics of sport swimming / K. Gianikellis (ed.). Caceres : Universidadde Extremadura, 2002. P. 56–59).*

Например, при плавании кролем Deschodtetal (1996) наблюдал значительную связь между скоростью отметки, расположенной в районе тазобедренного сустава, и горизонтальным и вертикальным движением верхних конечностей. По мере увеличения скорости верхних конечностей увеличивалась и горизонтальная скорость пловцов. Поэтому можно утверждать, что скорость верхних конечностей оказывает большое влияние на показатели плавания. Действительно, Hollander et al. (1988) обнаружил небольшой вклад ног в движение (приблизительно 10%) в плавании кролем. Однако Deschodtetal. (1999) установил, что у кролистов этот показатель около 15% (*Deschodt V. Relative contribution of arms and legs in human to propulsion in 25 m sprint front crawl swimming // European Journal of Applied Physiology. 1999. № 80. P. 192–199 ; Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming / A.P. Hollander, G. de Groot, G. van Ingen Schenau, R. Kahman, H. Toussaint // Swimming Science V / B. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle, (Eds.). Illinoi : Human kinetics books, 1988. P. 39–43).*

Вместе с тем, по мнению Т. Барбоза, точное соотношения вклада верхних и нижних конечностей в создание продвигающей силы в плавании

кролем еще не установлена. Существует еще один важный аспект при изучении кинематики плавания кролем - это взаимодействие верхних конечностей и поворотов корпуса вдоль продольной оси тела пловца. Отдельные исследователи предполагают, что правильное сочетание поворота корпуса с движением верхних конечностей и дыханием обеспечивает наиболее эффективное продвижение пловца в воде (*Psycharakis S.G., Sanders R.H. Bodyroll in swimming: areview // Journal of sports science. 2010. № 28. P. 229–236.*

Очень важную роль играют повороты корпуса для обеспечения ‘S’ образной траектории движения кисти руки, выполняющей гребок. Также повороты корпуса имеют большое значение при плавании на спине. Пловцы высокого класса могут сохранять наиболее обтекаемое положение тела (*Maglischo, 2003*). Вместе с тем сильные повороты корпусом способствуют высокому положению при ударах ногами. (*Cappaert et al., 1996*). В этом случае, как и в кроле на груди, ‘S’образная траектория кисти гребущей руки наиболее эффективна по сравнению другими видами траекторий (*Ito, 2008*) (*Maglischo E. Swimming faster. Illinois : Human Kinetics Champaign, 2003 ; Ito S. Analysis of the optimal arm stroke in the ebackstroke // The Book of Proceeding of the 1<sup>st</sup> International Scientific Conferece of Aquatic Space Activities, T. Nomura, B.E. Ungerechts (Eds.). Tskuba : University of Tskuba, 2008. P. 362–367 ; Cappaert J., Pease D., Troup J. Biomechanical high lights of world champion and Olympic swimmers // Biomechanics and Medicine in Swimming VII / J. Troup, A. Hollander, D. Strasse, S. Trappe, J. Cappaert, T. Trappe (Eds.). London, 1996. P. 76–80.*

Оценка характеристик движений точек, отмеченных на тазобедренном суставе пловца, или центра масс его тела, всегда рассматривались как способы оценки кинематики в плавании, однако многие исследователи считают, что наиболее точные измерения получены при использовании перемещения общего масс тела относительно пространственной кинематики гребка (*Comparative study of the response of kinematical variables from the hip and the center of mass in butterfly / T.M. Barbosa, J. Santos Silva, F. Sousa, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in Swimming IX / J.C. Chatard, (ed.). 2003. P. 93–98.*

Вместе с тем, эти авторы отмечают, что изменение скорости тазобедренного сустава более точно, характеризует изменение

внутрицикловой скорости. Это связано с тем, что взаимодействия верхних и нижних конечностей постоянно изменяют положение центра масс, и это приводит к несовпадению пиков и западаний графика внутрицикловой скорости во времени выполнения гребка (*Psycharakis & Sanders, 2009*).

Наиболее часто оцениваемая переменная, используемая в кинематике плавания, представляет собой внутрицикловое изменение горизонтальной скорости ( $dV$ ) (*Kolmogorov S., Duplischeva O. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity // Journal of Biomechanics. 1992. Vol. 23. P. 311–318*).

По мнению С.В. Колмогорова, с математической точки зрения внутрицикловая скорость плавания ( $dV$ ) описывается нелинейными функциями. Тем не менее коэффициенты, которые описывают эти функции, относительно надежны, так как отдельно взятые пловцы демонстрируют специфические индивидуальные кривые  $dV$ . Эти отклонения в сравнении с полученными средними данными нескольких пловцов позволяет интерпретировать особенности техники каждого пловца (*Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art / T.M. Barbosa, J.A. Bragada, V.M. Reis, D.A. Marinho, C. Carvalho, J.A. Silva // Journal of Science and Medicine in Sports. 2010. № 13. P. 262–269*).

Как отмечает Т. Barbosa (2010), более высокие пики скорости связаны с гребковыми движениями рук, а низкие с ударами ног. У некоторых пловцов можно выделить два или несколько пиков с разными скоростями. Эти пики связаны с наиболее эффективными фазами гребка каждой рукой. Кроме того, может иметь место асимметрия или разница в движениях правой и левой руки. Аналогичные тенденции можно определить и при плавании кролем на спине (*Kinematical changes in swimming front crawl and breaststroke with the Aqua Trainer(R) snorkel / T.M. Barbosa, A.J. Silva, A.M. Reis, M.J. Costa, N. Garrido, F.P. Barbosa, V.M. Reis // European journal of applied physiology. 2010. № 109. P.1155–1162*).

Колебания внутрицикловой скорости при плавании брассом характеризуется двумя пиками скорости. Один связан с движениями рук, другой с движениями ног. Оба пика должны иметь относительно одинаковую

величину с преимуществом увеличения скорости от удара ногами. Между двумя пиками происходит фаза скольжения со снижением скорости, поэтому пловца должны точно определять начала нового движения, чтобы не допускать значительного уменьшения мгновенной скорости (*Videogrametrically and acolorimetrically assessment in tra-cyclic variations of the velocity in breaststroke / F. Capitao, A.B. Lima, P. Goncalves, P. Morougo, M. Silva, R. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in Swimming X Portuguese Journal of Sport Science / J.P. Vilas-Boas J.P., F. Alves F. & A. Marques (eds.). 2006. P. 212–214 ; Kinematical changes in swimming front crawl and breaststroke with the Aqua Trainer(R) snorkel / T.M. Barbosa, A.J. Silva, A.M. Reis, M.J. Costa, N. Garrido, F.P. Barbosa, V.M. Reis // European Lournal of Applied Phisiology. 2010. № 109. P.1155–1162).*

В плавании баттерфляем на графике внутрицикловой скорости определяются три пика. Первый пик связан с первым ударом ногами, второй, когда руки выполняют движение внутрь - назад и третий пик совпадает с фазой движения рук назад-вверх. Во время фазы проноса мгновенная скорость быстро уменьшается

Существует связь между внутрицикловой и средней скоростью плавания, а также между ( $dV$ ) и энергетических затрат в плавании. Причем это зависимость характерна для всех способов плавания (*Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes / T.M. Barbosa, F. Lima, A. Portela, D. Novais, L. Machado, P. Colago, P. Goncalves, R.J. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and medicine in swimming portuguese journal of sport science / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds.). 2006. P. 192–194).*

Внутрицикловая скорость от заданной точки увеличивается с повышением скорости плавания, а затем начинает уменьшаться. Таким образом, высокие скорости, по-видимому предполагает более низкий уровень флуктуации внутрицикловой скорости. Кроме того, при увеличении колебаний внутрицикловой скорости, энергетическая стоимость повышается при сохранении средней скорости на постоянном уровне (*Energy cost and intra cyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke / T. Barbosa, K.L. Keskinen, R.J. Fernandes, P. Colago, A.B. Lima, J.P. Vilas-Boas // European of Applied Physiology. 2005. № 93. P. 519–523 ; Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation*



*in competitive swimming strokes / T.M. Barbosa, F. Lima, A. Portela, D. Novais, L. Machado, P. Colago, P. Goncalves, R.J. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in Swimming Portuguese Journal of Sport Science / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds.). 2006. P. 192–194).*

Это замечание применительно ко всем четырем спортивным способам плавания. Например, в брассе более выраженное волновое колебания тела пловца снижает колебание внутрициклового скорости, а в баттерфляе низкая скорость во время входа рук в воду после проноса, высокая скорость кисти во время захвата и высокая скорость движения стоп во время второго удара ногами также снижает колебание внутрициклового скорости.

Таким образом, отдельные движения конечностями и корпусом в каждом плавательном цикле могут уменьшать или увеличивать колебания внутрициклового скорости и, следовательно, увеличивать или уменьшать эффективность техники плавания, соответственно (*Energy cost and intra cyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke / T. Barbosa, K.L. Keskinen, R.J. Fernandes, P. Colago, A.B. Lima, J.P. Vilas-Boas // European of applied physiology. 2005. № 93. P. 519–523 ; Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes / T.M. Barbosa, F. Lima, A. Portela, D. Novais, L. Machado, P. Colago, P. Goncalves, R.J. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in swimming portuguese journal of sport science / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds.). 2006. P. 192–194).*

### 1.3 Динамические характеристики продвижений пловца в воде и методики их измерений

Динамические характеристики раскрывают движение материальных тел в зависимости от действующих на них сил. Любое тело, движущееся в воде, испытывает действие движущихся сил и сил гидродинамического сопротивления (*Козлов А.В. Обучение и совершенствование спортивных способов плавания / Нац. гос. ун-т физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. СПб. : [б. и.], 2010. 30 с.); Гордон С.М., Ширковец В.А. Гидродинамическое сопротивление и продвигающие силы пловца // Теория и практика физ. культуры. 1968. № 6. С. 17–21).*

Все силы, действующие на тело пловца при его движении в воде, можно разделить на внешние, возникающие вне тела при взаимодействии его с внешней средой, и внутренние, к которым относятся мышечные силы. Если при неподвижном положении тела в воде на него действуют такие внешние силы, как гидродинамическая выталкивающая сила и сила тяжести, то при движении тела, кроме них, начинают действия и другие силы. К ним относятся сила лобового сопротивления, или как ее называют сила полного сопротивления, подъемная сила, сила тяги, топящая сила. Все они возникают в результате движения тела пловца и находятся в зависимости от ряда факторов (Козлов А.В. Особенности взаимосвязи биомеханических показателей гребка в кроле на груди // Итоговая научная конференция ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта : сб. Л., 1982. С. 24 ; Мосунов Д.Ф. Дидактические основы совершенствования двигательных действий спортсмена (на примере плавания) : дис. ... д-ра пед. наук. СПб., 1992. 306 с.).

Принято считать, что скорость плавания человека в воде зависит в основном от соотношения пропульсивных или продвигающих сил тела пловца в воде и сил торможения. Приняв такой подход «сбалансированности сил» за основу, можно предположить, что к повышению скорости плавания приведет к снижению воздействий резистивных сил или сопротивления, которые действуют на пловца, и увеличения действия пропульсивных, продвигающих сил. (Alexander, 1977; Toussaintetal., 1988a; Toussaintetal., 1991; Bergeretal., 1997). (Alexander R.M. *Swimming // Mechanics and energetics of animal locomotion* / R.M. Alexander, G. Goldspink (Eds.). London : Chapman & Hall, 1977. P. 222–249 ; Alexander R.M. *Animal Mechanics*. Boston : Blackwell Scientific Publications, 1983 ; Toussaint H.M., JanssenT., Kluijt, M. *Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming* // J. Biomech. 1991. № 24. P. 205– 211; Berger M.A.M., Hollander, A.P., G. de Groot *Technique and energy losses in front crawl swimming* // Med. Sci. Sports Exerc. 1997. № 29. P. 1491–1498).

При движении тело сообщает ускорение, прилегающей к нему массе воды. Вследствие этого возникают лобовое и общее сопротивление. Многие ученые определяют их как: сопротивление формы “ $R_f$ ”, сопротивление трения “ $R_t$ ” и сопротивление волнообразования “ $R_v$ ”.

Сопротивление формы при оценке техники плавания представляет наибольший интерес, так как на его долю приходится около 70% общего сопротивления. Величина сопротивления трения от общего сопротивления равна 10%. Доля вольного сопротивления составляет около 20%.

Для человека, плывущего с равномерной скоростью, полное гидродинамическое сопротивление имеет вид:

$$R_x = KV^2, \quad (\text{Уравнение 1})$$

где  $R_x$  - суммарная величина сопротивления;  $V$  - скорость плавания, м/с;  $K$  - безразмерный коэффициент обтекаемости сопротивления, составляющими которого являются:

$$C_x(p/2)S, \quad (\text{Уравнение 2})$$

где  $C_x$  - коэффициент обтекаемости, иногда называемый коэффициентом пропорциональности или коэффициентом лобового сопротивления;  $p$  - плотность воды;  $S$  - миделевое сечение, являющееся проекцией тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения (Теория и методика обучения базовым видам спорта. Плавание : учебник / А.А. Литвинов, А.В. Козлов, Е.В. Ивченко [и др.]. М. : Академия, 2014. 272 с.)

Значительная часть затрат энергии при плавании используется для преодоления сопротивления (Prampetro P.E. *The energy cost of human locomotion on land and in water* // *Int J. sports med.* 1986. № 7. P. 55–57), поэтому это один из главных факторов, который может ограничить эффективность плавания. На протяжении всей истории плавания были предприняты попытки измерить это сопротивление. Еще в 1905 году Дюбуа-Реймонд отбуксировал людей за гребной лодкой, измеряя сопротивление с помощью динамометра. Буксировка пловца с берега осуществлялась с помощью брашпиля (Liljestrand G, Stenstrom N. *Studienuber die Physiologie des Schwimmens* // *Skandinavisches Archiv fur Physiologie.* 1919. № 39. P. 1–63). Д. Амар (Amar J. *The human motor.* London: G. Routledge & Sons, Ltd, 1920) первым предположил, что сопротивление связано с квадратом скорости плавания, что в дальнейшем в своих исследованиях подтвердил П. Карпович

(Karpovich P. *Water resistance in swimming Research Quarterly*. 1933. V. 4. P. 21–28) (см. уравнение 2)

Так Д. Амар, так и П. Карпович использовали методы измерения сопротивления пловцов, которые находились в воде в пассивном состоянии. В этом случае соотношение между сопротивлением ( $N$ ) и скоростью ( $m \cdot s^{-1}$ ) было приблизительно  $D = 29 \cdot v^2$ .

Тем не менее, тело, конечно, никогда не находится в пассивном или устойчивом положении, что позволяет постоянно генерировать продвигающие силы. В следствие этого, некоторыми авторами было высказано предположение, что движения, необходимые для создания продвигающих сил, могут вызвать дополнительное сопротивление (Иссурин В.Б., Дементьев А.Н., Глазков А.Б. *Нормативное и факторное исследование скоростно-силовой и технической подготовленности высококвалифицированных пловцов // Теория и практика физ. культуры*. 1977. № 7. С. 8–11 ; *Quantitative analysis of the front crawl in men and women / D.R. Pendergast, P.E. di Prampero, A.B. Craig, D.R. Wilson, D.W. Rennie // Journal applied physiol.* 1977. № 43. P. 475–479 ; *Clarys J.P. Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag // Biomechanics VI*. 1978. P. 120–125 ; *Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels / S. Kolmogorov, O. Rumyantseva, B. Gordon, J. Cappaert // Journal of applied biomechanics*. 1997. Vol. 13. P. 88–97).

Это привело к попыткам определить сопротивление активного плавающего человека. Методы оценки этого показателя были разработаны несколькими группами ученых в 70-е годы (*Total resistance in water and its relation to body form / J.P. Clarys, J. Jiskoot, H. Rijken, P.J. Brouwer // Biomechanics IV / Nelson R.C., Morehouse C.A., eds. Baltimore : University Park Press, 1974. P. 187–196 ; Clarys J.P., Jiskoot J. Total resistance of selected body positions in the front crawl. Baltimore : University Park Press, 1975 ; Holmér I. Efficiency of breaststroke and freestyle swimming // Swimming II / Clarys J.P., Lewillie L., eds. Baltimore : University Park Press, 1975. P. 130–136 ; Energetics of swimming in man / Prampero P.E. di, Pendergast D.R., Wilson D.W., Rennie D.W. // J. appl physiol.* 1974. 37. 1-mei. ; *Rennie D.W., Pendergast D.R., Prampero P.E. di. Energetics of swimming man / Rennie D.W., Pendergast D.R., Prampero P.E. di. // Swimming II / Clarys J.P., Lewillie L., eds. Baltimore : University Park Press, 1975. P. 97–104*).

В методе, используемом И. Холмером, П. Прамперо и Д. Ренни, экстраполируется изменение потребления кислорода при плавании с дополнительным сопротивлением, прикрепленным к телу пловца в методе, предложенном Д. П. Кларисом, экстраполируются изменения внешних сил, применяемых к движущейся платформе как функции наложенных изменений скорости. Оба метода дали сопоставимые результаты и как ожидалось, более высокие значения сопротивления (150 - 300%), чем ранее сообщаемые значения для пассивного сопротивления (*Energetics of swimming in man / Prampero P.E. di, Pendergast D.R., Wilson D.W., Rennie D.W. // J. appl. physiol. 1974. 37. 1-meii. ; Rennie D.W., Pendergast D.R., Prampero P.E. di. Energetics of swimming man / Rennie D.W., Pendergast D.R., Prampero P.E. di. // Swimming II / Clarys J.P., Lewillie L., eds. Baltimore : University Park Press, 1975. P. 97–104*).

Один из ведущих американских специалистов в биомеханики плавания Р.Е. Шлейхауф разработал новый подход, который не основывался на экстраполяции (*Шлейхауф П.Е. Гидродинамический анализ движущих сил в плавании Schleihauf R.E. A hydrodynamic analysis of swimming propulsion // Swimming III / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. Baltimore : University park press, 1979. P. 70–109*). Его техника была основана на балансе пропульсивных и резистивных сил, которые, согласно закону Ньютона, должны существовать при плавании с постоянной скоростью. Следовательно, путем определения пропульсивных сил можно оценить сопротивление.

В середине 80-х А.П. Холандер и др. (1986) разработали еще один подход к измерению активного сопротивления (система М.А.Д., (*measure active drag (MAD - system)*)). (*Measurement of active drag forces during swimming / A.P. Hollander, G. de Groot, Ingen Schenau G.J. van, H.M. Toussaint, Best H. de, W. Peeters, A. Meulemans, A.W. Schreurs // J. sports sci. 1986. № 4. P. 21–30*). Этот метод основан на прямом измерении величины силы отталкивания ладони руки, выполняющий гребок в кроле.

С.В. Колмогоров и О. Дуплишева разработали принципиально другой метод определения активного сопротивления (*Kolmogorov S., Dyplisheva O. Activedrag, use ful mechanical power out put and hydrodynamic force coefficientin different*

*swimming strokes at maximal velocity // Journal of Biomechanics. 1992. Vol. 23. P. 311–318 ; Active drag measurements in elite US swimmers / J. Cappaert, S. Kolmogorov, J. Walker, J. Skinner, F. Rodriguez, B. Gordon // Journal medicine and science in exercise and sports. 1996. Vol. 28. P. 279 ; Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels / S. Kolmogorov, O. Rummyantseva, B. Gordon, J. Cappaert // Journal of applied biomechanics. 1997. Vol. 13. P. 88–97).*

При использовании этого метода малых возмущений с помощью дополнительного гидродинамического тела испытуемым предлагается проплыть два 30-метровых с максимальной скоростью, один раз свободно, другой раз с прикрепленным гидродинамическим сопротивлением, что создало дополнительное сопротивление. Для каждого из отрезков вычисляется средняя скорость. Если предположить, что пловец при плавании с максимальной скоростью развивает максимальную и постоянную мощность, то активное сопротивление можно вычислить следующим образом, (см. уравнение 3):

$$D_1 \cdot v_1 = D_2 \cdot v_2 \quad (\text{Уравнение 3})$$

Важным преимуществом этого метода является то, что его можно применять для измерения активного сопротивления всех четырех спортивных способов плавания, в то время как система MAD и косвенные методы применимы только для кроля. Кроме того, этот метод дает возможность оценивать активное сопротивление только на максимальной скорости, что, с другой стороны, является одним из недостатков этого метода.

С использованием этих современных методов были определены значительно меньшие значения активного сопротивления, чем те, о которых сообщалось ранее (*Clarys J.P., Jiskoot J. Total resistance of selected body positions in the front crawl. Baltimore : University park press, 1975).* (*Schleihaufl R.E., Gray L., De Rose J. Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint front crawl stroke // Biomechanics and Medicine in Swimming / Hollander A.P., Huijing P.A., Groot G. de, eds. Champaign, Ill. : Human Kinetics Publishers, 1983. P. 173–184 ; Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G. de Groot, H.H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // Journal of biomechanics. 1988. № 21. P. 435–438 ; An estimation of active*

*drag in front crawl swimming / Vaart A.J.M. van de, Savelberg H.H.C. M. Groot G. de, Hollander A.P., Toussaint H.M., Ingen Schenau G. J. van // Journal biomech. 1987. № 20. P. 543–546).*

За исключением метода С.В. Колмогорова, значения были сопоставимы со значениями, сообщаемыми ранее для пассивного сопротивления ( $D = 26 \cdot v^2$ ). На основе этой методики были получены еще более низкие значения ( $D = 16 \cdot v^2$ ).

Необходимо отметить, что В.Б. Иссурин и др. (1986) при изучении закономерностей формирования спортивно-технической мастерства в водных циклических видах спорта использовал такие методики как стереостробофотографии, буксировочные испытания. Для этих методик использовались тензодинамометрической лебедки, а также в гидроканале, специально сконструированный для проведения исследований. В процессе этих исследований было установлено, что гидродинамическое сопротивление, являющиеся основным источником противодействия внешних сил водной локомоции, увеличивается вследствие рабочих движений спортсмена по сравнению с равномерной буксировкой. Величина этой прибавки - около 15 - 22 % в гребле и до 100 % при плавании - характеризуется индивидуальное техническое мастерство спортсмена (Иссурин В.Б., Краснов Е.А., Разумов Г.Г. *О механизме весельного гребка // Теория и практика физ. культуры. 1980. № 9. С. 50–54 ; Иссурин В.Б., Костюк И.Ю. Пространственная кинематика гребка и перенос навыка в плавании различными способами // Теория и практика физ. культуры. 1982. № 5. С. 15–17 ; Иссурин, В. Б., Глазков А. Б., Дементьев А. Н., Скворцов А. Б. / В.Б. Иссурин, А.Б. Глазков, А.Н. Дементьев, А.Б. Скворцов // Физиология человека. АН СССР, 1979, № 4, с. 600–606; Иссурин В.Б. Гидродинамические характеристики спортивных судов: эффект и допустимость использования водорастворимых полимерных покрытий для повышения скорости движения лодки / В.Б. Иссурин, Ю.Ф. Иванюта, Е.А. Краснов, А.П. Силаев, А.А. Хомяков // Теория и практика физ. культуры. 1980. № 6. С. 44–46).*

Осложняющим моментом в этой дискуссии о достоверности того или иного метода был тот факт, что в этих исследованиях принимали участия пловцы различной квалификации (Hay J.G. *The status of research on the biomechanics of swimming // Swimming Science V / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. Champaign, Ill. : Human kinetics books, 1988. P. 3–14).*

Так А. Холандер, проводя исследования с пловцами высококой квалификации, сравнивал и активное и пассивное сопротивление у 13 элитных мужчин-пловцов. Активное сопротивление было определено с использованием техники Шлейхауфа и использования MAD - системы, в то время как пассивное сопротивление было определено во время буксировки. Эти два метода дали аналогичные значения активного сопротивления ( $r = 0,76$ ) (*The determination of drag in front crawl swimming / A.P. Hollander, J.P. Troup, R.E. Schleihauf, H.M. Toussaint // Journal biomechanics in press. P. 32*). Вновь было подтверждено, что активное сопротивление связано со скоростью с  $D = 26,5 \cdot v^2$ . Значения пассивного сопротивления были значительно ниже ( $14,5 \cdot v^2$ ), но намного выше предыдущих измерений.

Это показало, что величина пассивного сопротивления в большой степени зависит от положения тела во время буксировки. В частности, небольшие вариации в положении головы могут приводить к значительным изменениям сопротивления (*Miyashita M., Tsunoda T. Water resistance in relation to body size // Swimming Medicine IV / Eriksson B., Furberg B., eds. Baltimore : University park press, 1978. P. 395–401*).

Учитывая этот факт, можно сделать вывод, что активное сопротивление наиболее достоверно характеризует величину сил сопротивления в плавании.

До сих пор, по мнению, Э. Маглишко (2003), ученые не могут прийти к единому мнению, на основании каких физических закономерностей пловец двигается в воде.

Так изучению механизмов возникновения продвигающих сил в плавании за рубежом уделяли мало внимания до конца 60 - х годов., когда Д. Коунсельмен (1968) свой знаменитый кинематический анализ техники плавания кролем на груди и начал размышлять о динамическом механизме движений (*Counsilman J.E. Science of Swimming. Englewood Cliffs, N.J.: PrenticeHall, 1968*).

С целью разработки современной системы мер, направленной на повышение эффективности и качества совершенствования технико-



тактической подготовленности пловца, требуется уточнения и углубления теоретических и практических представлений о формировании гидромеханического пространства вокруг спортсмена (*Мосунов Д.Ф., Мосунова М.Д., Назаренко Ю.А. Формирование пространства воды вокруг спортсмена-пловца // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2010. № 5 (63). С. 57–61.*)

Авторы Д. Ф. Мосунов, М. Д. Мосунова, Ю. А. Назаренко выделяют несколько фактов о взаимодействия спортсмена-пловца с водной средой.

Факт 1. Человек, погружающийся в воду, вытесняет объем воды, который равен объему погруженного в воду тела или части его тела.

А занчит и нарушается целостная форма воды плавательного бассейна.

Факт 2. К поверхности тела и купального костюма, по всему объему погруженного тела или его части, прилепает тонкий пограничный слой воды. Прилипший слой воды по мнению Д. Ф. Мосунов, М. Д. Мосунова, Ю. А. Назаренко остается неподвижным на данном месте на поверхности кожи или костюма (*Мосунов Д.Ф., Мосунова М.Д., Назаренко Ю.А. Формирование пространства воды вокруг спортсмена-пловца*).

Находясь в приклеенном слое воды, слипшиеся молекулярные слои вовлекаются в формирующие течение по направлению и траектории этой части тела в неподвижном окружающем пространстве воды (*Мосунов Д.Ф., Мосунова М.Д., Назаренко Ю.А. Формирование пространства воды вокруг спортсмена-пловца*).

Так при любой движущийся части тела (нога, рука, голова, туловище) происходит перемещение части массы объема воды в направлении траектории движения этой части тела, при этос с боков происходит увеличение течения вихревых потоков воды в этом же направлении.

Факт 3. При плавании пловца в условиях воды бассейна возникает пространственно - временная гидродинамическая система "пловец - вода".

Авторы описывают ее, как мощная гидродинамическая капсула перемещения. Значение этой капсулы определяется тем, что возникает пропульсивное воздействие на свойства всей среды бассейна и происходит изменение при перемещении пловца на дистанции внутри мощной

гидродинамической капсулы (Мосунов Д.Ф., Мосунова М.Д., Назаренко Ю.А. *Формирование пространства воды вокруг спортсмена-пловца*).

При плавании кролем на груди происходит смещение массы воды с туловища и конечностей пловца. При ассиметричном движении то с правой, то с левой стороны, происходит отрыв мощных вихревых потоков, образуя "дорожку Крамера" (Мосунов Д.Ф., Мосунова М.Д., Назаренко Ю.А. *Формирование пространства воды вокруг спортсмена-пловца*).

Раньше считалось, что движущие силы на поверхности руки создаются аналогично движению на поверхности весла. Было высказано мнение, что силы сопротивления, создаваемые движением руки назад, будут продвигать пловцов вперед как прямое применение третьего закона Ньютона (действие - противодействие, Рисунок 2).

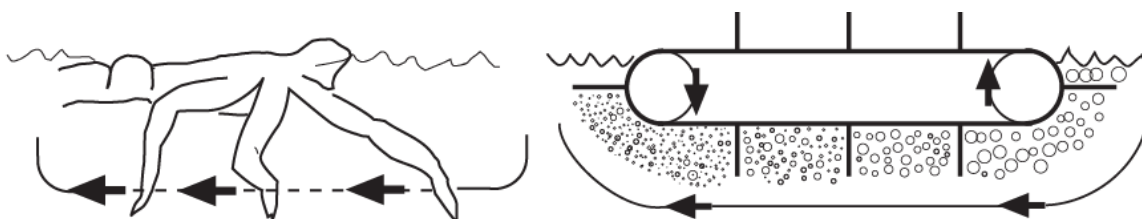


Рисунок 2 – Ранний взгляд на механику движения: рука используется как весло (Н.М. *Toussainteel* (2000))

Рука тянется прямо назад, создавая зону высокого давления на ладони и зону низкого давления на тыльной стороне кисти. Полученная сила тягового сопротивления будет продвигать пловцов вперед, соответствующих колесу гусеницы (справа). Однако на самом деле эта форма движителя довольно неэффективна, потому что турбулентность от одного лезвия влияет на способность следующего лезвия создавать сопротивление. Кроме того, относительная малая масса получает довольно большое изменение скорости, что приводит к большим потерям кинетической энергии в воду (Н.М. *Toussainteel* (2000)).

Третий закон Ньютона определяет, что под воздействием силы,

действующей на какое-нибудь тело, возникает другая сила, действующая в противоположном направлении и равная по величине. Дж. Каунсилмен и Ч. Сильвия считали, что согласно этому закону, мышечные усилия пловца при отталкивании воды назад порождают возникновение противодействующих сил, продвигающих его вперед. Вместе с тем, авторы были уверены, что величина поступательного движения определяется количеством воды, которое было направлено назад гребущими поверхностями конечностей пловца, а также расстояние, на которое ее оттолкнули. Нельзя полностью согласиться с авторами в этом вопросе, т.к. в их оценке полностью отсутствует такая важная кинематическая характеристика как скорость движения гребущих поверхностей.

Дж. Каунсилмен изменил свою точку зрения при изучении подводной киносъемки пловцов - участников различных международных соревнований. Было установлено, что вместо того, чтобы проталкивать воду назад, рука следует по искривленной траектории, которую часто называют или часто *S* - образной траекторией. Такую форму траектории движения рук пловца автор объяснял тем, что при отталкивании от воды гребущими поверхностями руки небольшая часть воды, перемещенная на небольшое расстояние, способствует созданию большей величины поступательного движения, а перемещение рукой большой порции и на большое расстояние, снижает этот показатель (Рисунок 2).

Это связано с тем, что под воздействием гребущих поверхностей руки вода приобретает определенную скорость, поэтому пловцу необходимо постоянно повышать эту скорость на величину, превышающую скорость движения воды.

Необходимо добавить, что при увеличении скорости, речь, скорее всего, может идти об ускорении. А это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению гидродинамического сопротивления.

В связи с этим, автор отмечает, что для продвижения пловца при использовании измененной траектории гребка снижается необходимость

увеличения скорости движения рук по сравнению с прямолинейной траекторией. Пловец, изменяя траекторию движения кисти, перемещает их из области, где вода продолжает двигаться назад после начала гребка, в зону, где вода имеет, практически, нулевую скорость. Это создает возможность для пловца оттолкнуться от воды с меньшими мышечными усилиями.

Из выше сказанного следует, что использование пловцом  $S$  - образной траектории гребка по сравнению с прямолинейной траекторией позволяет увеличивать поступательное движение, что, в свою очередь, приводит к снижению энергозатрат за счет приложения меньших мышечных усилий

Первыми, кто казал подлинные движения рук пловца при выполнении подводной части гребка, были Браун и Каунсилмен на основе анализа съемок на фотопленку пловцов, с фонариками, прикрепленными к пальцам рук (*Brown R.M., Counsilman J.E. The role of lift in propelling swimmers // Biomechanics / ed. by J.M. Cooper. Chicago, IL: Athletic Institute, 1971. P. 179-188*).

На этих кадрах пловцы выполняли гребковые движения руками по диагонали, при этом руки гораздо больше двигались в вертикальном и латеральном направлениях, нежели назад. Эти результаты были позднее подтверждены различными исследованиями, показавшими, что пловцы используют для перемещения вперед круговые движения руками, в которых доля латеральной и вертикальной составляющих намного превышала собственно движение рук назад (*Plagenhoff S. Patterns of human motion. N.J. : Prentice-Hall, 1971 ; Barthels K., Adrian M.J. Variability in the dolphin kick under four conditions // First International Symposium on Biomechanics in Swimming, Waterpolo and Diving Proceedings / edited by L. Lewillie, J.P. Clarys. Brussels : Universitie Libre de Bruxelles Laboratoire de L'effort. P.105–108 ; Belokovsky V., Ivanchenko E. A hydrokinetic apparatus for the study and improvement of leg movements in breaststroke // International Series on Sport Sciences. Vol. 2, Swimming II / ed. by J.P. Clarys, L. Lewillie. Baltimore : University Park Press, 1975. P. 64–69 ; Reischle K. A kinematic investigation of movement patterns in swimming with photo-optical methods // Swimming III / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. Baltimore : University Park Press, 1979. P. 127–136 ; Maglischo, E.W. A 3-dimensional cinematographical analysis of competitive swimming strokes // ASCA World Clinic Yearbook, edited by R.M. Ousley, 1-14. Fort Lauderdale. – F.L. : American Swimming Coaches Association, 1984 ; Luedtke D. 1986. Backstroke*

*biomechanics. In 1985 ASCA World Clinic Yearbook, edited by T. Johnston, J. Woolger, and D. Scheider, 95. Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association ; Hinrichs R. Biomechanics of butterfly // ASCA World Clinic Yearbook, edited by T. Johnston, J. Woolger, and D. Scheider. Fort Lauderdale, F.L.: American Swimming Coaches Association, 1986. P. 94).*

Используя эту методику Брауном и Каунсилменом, определили реальные траектории движений пловца под водой при выполнении гребковых движений всеми четырьмя способами плавания с фиксированной точки, которые представлены на рисунке 3.

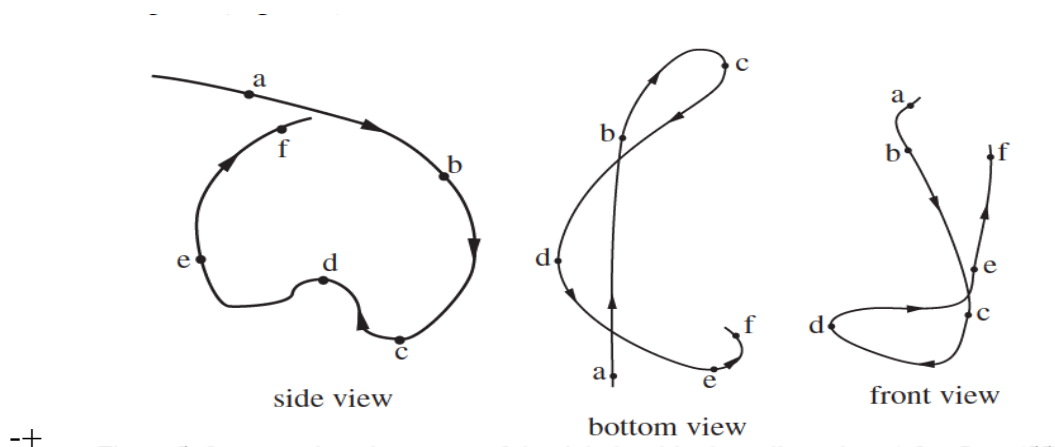


Рисунок 3 – Траектория гребка кролем в трех проекциях (*sideview* вид сбоку; *bottomview* - вид снизу; *frontview* - вид спереди) (*Svec O. Biofeed back for pulling efficiency // Swimming Technique. 1982. № 19. P. 38–46*)

На основании вышесказанного, Браун и Каунсилмен предположили, что латеральные и вертикальные элементы траектории движения рук, также должны способствовать увеличению поступательного движения пловца. На основании этого они высказали предположения относительно важности действия Второго закона Ньютона по принципу действия и противодействия для генерирования поступательного движения пловца. В обосновании влияния латеральных и вертикальных движений руками во время гребка они обратились к Закону Бернули.

Д. Бернули, швейцарский физик, первым открыл связь между давлением жидкости и скоростью ее потока. В сформулированном этим

ученым законом было установлено, что чем выше скорость потока идеальной жидкости, тем ниже давление, которое он создает. Этот закон объясняет возникновение подъемной силы при движении объектов в форме крыла в жидкообразных и газообразных средах (Рисунок 4)

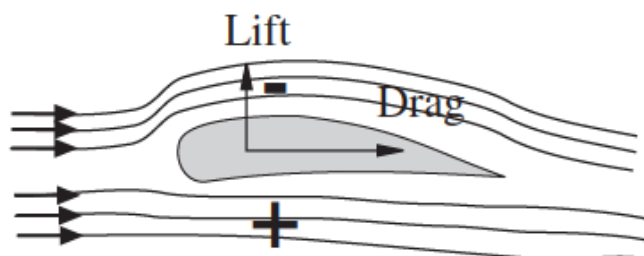


Рисунок 4 – Демонстрация закона Бернулли на примере крыла самолета  
(Svec O., 1982)

При движении самолета вперед относительное движение потоков воздуха непосредственно перед крылом будет направлено назад, вследствие чего будет возникать сила сопротивления, направленная в сторону, противоположную движению самолета. При движении крылья будут разделять потоки воздуха. Часть из них пройдет над крылом, а часть под ним.

На рисунке 4 маленькими стрелками изображено движение потоков воздуха. Форма динамического крыла определяет различную скорость этих потоков, которые обтекают верхнюю и нижнюю поверхность крыла. Вследствие того, что верхняя выпуклая поверхность по длине значительно больше, чем нижняя, то верхний поток, ускоряясь, формирует область пониженного давления по сравнению с зоной повышенного давления под нижней поверхностью крыла. Это создает, так называемую подъемную силу. Применяв этот пример к гидродинамике, авторы назвали эту силу “Lift”, в отличие от сил, которые формируют продвижение пловца вперед по принципу Третьего закона Ньютона, которые назвали - “Drag”.

Однако, по нашему мнению, рассматривать воду и воздух как жидкость, применительно к спортивному плаванию нельзя, в связи с тем, что плотность воды, практически, в 1000 раз больше плотности воздуха. Скорость

пловца, относительно плавающих механических средств, незначительна, а колебания скорости внутри циклов, которыми пловец передвигается в воде, очень большие. Эти факторы и влияют, в основном, на биомеханику и гидродинамику плавания (Рисунок 5). (Barthels K., Adrian M.J. Barthels, K. *Three dimensional spatial hand patterns of skilled butterfly swimmers // Swimming II / Clarys J.P., Lewillie L., eds. Baltimore : University park press, 1974. P. 154–160 ; Hay J.G. The Biomechanics of sports techniques. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, Inc., 1973 ; Rackham G.W. An analysis of arm propulsion in swimming // Swimming II / Clarys J.P., Lewillie L., eds. Baltimore : University park press, 1975. P. 174–179 ; Reischle K. A kinematic investigation of movement patterns in swimming with photo-optical methods // Swimming III / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. Baltimore : University Park Press, 1979. P. 127–136 ; Schleihauf R.E. A biomechanical analysis of freestyle // Swimming Technique. 1974. № 11. P. 89–96. ; Ungerechts, B.E. Optimizing propulsion in swimming by rotation of the hands / B.E. Ungerechts // Swimming III / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. Baltimore : University Park Press, 1979. P. 55–61 ; Wood T.C. A fluid dynamic analysis of the propulsive potential of the hand and forearm in swimming // Swimming III / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. Baltimore : University park press, 1979. P. 62–69).*

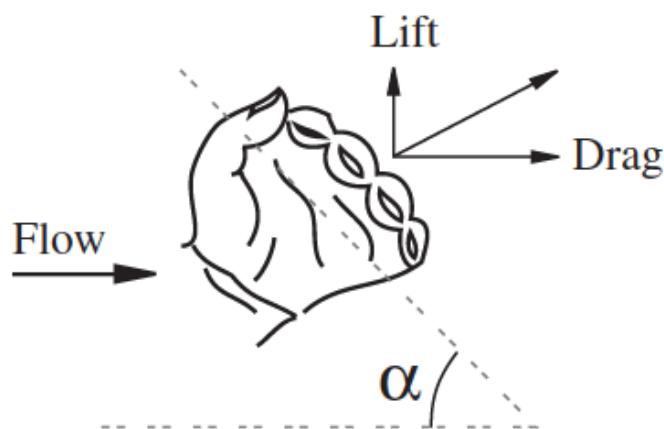


Рисунок 5 – Угол атаки ( $\alpha$ ) (Svec O., 1982)

Вместе с тем было выполнено ряд исследований, которые позволяют критически относиться к теории, объясняющих поступательное движение в плавании эффектом Бернулли.

К ним относятся исследования М Фаррелла, проведенные в 1991 году. Для изучения подъемной силы автор использовал три модели руки пловца, сделанные из пластика, с прикрепленными резиновыми ленточками длиной около 2,5 см. Автор перемещал их в воде с различной скоростью и с различным

углом атаки к направлению движения (*Ferrell M.D. An analysis of the Bernoulli lift effect as a sive component of swimming strokes : masters thesis / State University of New York at Cortland. Cortland, 1991*).

В ходе исследований М. Фаррелл изучал поведение поверхностного слоя воды на поверхности руки во время гребка. Хаотичные колебания тонких резиновых ленточек говорили о нарушении пограничного слоя по причине большой турбулентности. Это происходило даже тогда, когда пластиковая модель руки двигалась с медленной скоростью.

Определенная таким образом турбулентность в пограничном слое потока воды, обтекающего верхнюю поверхность кисти, обуславливает отсутствие условия возникновения эффекта Бернулли на тех скоростях и при тех углах атаки, которые используют высококвалифицированные пловцы.

В своих исследованиях Б. Бикслер (1999), также направленных на изучение потока воды вокруг кисти пловца, использовал компьютер. Он смоделировал поверхность кисти и предплечья и рассчитал направление и скорость потока жидкости и связанные с этим изменения давления жидкости. Использование компьютерной программы позволили автору также рассчитать показатели результирующего действия силы сопротивления и подъемной силы. На основании проведенных расчетов автор установил, что закон Бернулли нельзя использовать для объяснения подъемной силы, т.к. существует отрыв пограничного слоя воды от поверхности руки во время выполнения пловцом гребка рукой (*Bixler B. The computational fluid dynamics analysis of a swimmer's hand and arm. Report presented to the Sports Medicine Committee of U.S.A. Swimming, Colorado Springs, 1999*).

Вместе с тем, по мнению Э. Маглишко (2003), по результатам исследований, полученных Ферреллом и Бикслером нельзя судить о том, что пловец во время грека рукой не создает подъемной силы «Lift». Эти результаты показывают только то, что возникновение продвигающих сил при плавании нельзя объяснять только эффектом Бернулли, который возникает при разнице давления воды на внутренней и внешней поверхности кисти



пловца.

К такому же выводу пришли Л. И Дж. Хоулт (1989), которые для своих исследований использовали гидроканал и искусственные модели конечностей человека. В процессе исследований группа пловцов проплывала в гидроканале дистанцию по времени соответствующей дистанции длиной в 100 ярдов в обычном режиме и с прикрепленными пластинами к внешней стороне каждой кисти пловца. Действие пластин нарушало поток воды, и отрыв пограничного слоя с внешней стороны руки не позволял возникать эффекту Бернули. Сравнение время преодоления дистанции в стандартном состоянии и с пластинами на руках показало, что этот эффект играет незначительную роль в создании продвигающих сил в плавании (*Holt L.E., Holt J.B. Swimming velocity with and without lift forces : Unpublished paper / L.E. Holt, J.B. Holt ; Sports Science Laboratory, Dalhousie University, Dalhousie, Canada // Forces in swimming - Current status // Swimming coaching science bulletin / B. Rushall, E.J. Sprigings, L.E. Holt, and R.R. Francis. 1994. № 2 (4). P. 1–24).*

В 1992 году Сесил Колвин разработал теорию образования вихрей. В основе этой теории лежит предположение автора о том, что формирование вихрей в потоках воды, которые сопровождают кисти пловца при выполнении гребка, поддерживается разность давления на нижней и верхней поверхности кисти пловца даже в условиях турбулентного потока жидкости, что создает подъемную силу, которая, в свою очередь, обеспечивает продвижение пловца.

По мнению автора, квалифицированные пловцы могут контролировать траектории движений своих конечностей для формирования и отрыва вихрей, что создает движущие силы двух типов. Колвин назвал эти механизмы: «крыло» и «летающее крыло». Он утверждал, что эти механизмы используются пловцами в различных подводных фазах гребка. В первой фазе гребка для создания продвигающей силы используется механизм «крыло», когда во второй фазе используется, в основном, «летающее крыло» (*Colwin C. Fluid dynamics: Vortex circulation in swimming propulsion // ASCA World Clinic Yearbook / edited by T.F. Welsh. Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association, 1984. P. 38–46 ;*

*Colwin C. Swimming Into the 21st Century // Champaign, IL : Leisure Press, 1992 ; Colwin C. Breakthrough swimming. Champaign : Human Kinetics, 2002. 296 p.).*

В начале 1990-х годов было опубликовано много работ, где определялась роль подъемной силы при формировании поступательного движения в спортивном плавании (*Maglischo T. Swimm in geven faster II Title GV 838. 67. T 73. 2003).*

Однако, в своей работе «Swimming Fastest», опубликованной в 2003 году, автор сам высказывает сомнения в том, эффект Бернули является основным движущим механизмом при создании подъемной силы. Он возвращается к Третьему закону Ньютона как основе которого формируется продвижение пловца. На основе противодействующих сил, пловец продвигается вперед, используя при этом свои верхние конечности как вестла, а не как гидрокрылья (*Maglischo E.W. Swimming Fastest. 3rd ed. Champain, Illinois : Human Kinetics Publishers, 2003. 800 p.).*

При этом, как считает Э. Маглишко, нельзя гарантировать, что современная теория поступательного движения пловца на сегодняшний момент сформирована до конца. Однако, по мнению автора, логика ее построения отвечает всей сумме накопленных знаний по биомеханике и гидродинамике спортивного плавания на современном этапе исследований.

Определение и оценка показателей, характеризующих гидродинамические качества пловцов, эффективность техники движений, силовые возможности, проводились в исследованиях А.И. Погребного (1997) с использованием следующих расчетных методов:

- коэффициент эффективности техники (КЭТ), рассчитывался по отношению действительного "шага" пловца к теоретически возможному "шагу", равному четырехкратной длине руки пловца (*Полевой В.Г. Разработтса методики управления техническим мастерсгеом пловцов-кролистов различной квалификации : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 1985. 18 с.).*

- относительный "шаг" пловца по отношению действительного "шага" к удвоенной длине руки (*Гринев В.Т. Экспериментальное исследование эффективности*

*гребка, методики оценки и совершенствования техники спортивного плавания : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 1977. 22 с.)*

- коэффициент эффективности гребковых усилий (КЭГУ) рассчитывался по формуле:

$$\text{КЭГУ} = \sqrt{\frac{P \cdot L \cdot V^2}{k \cdot F}}, \quad (\text{уравнение-4})$$

где P - масса тела, L - длина тела, V - скорость плавания, F - сила тяги в воде, k - коэффициент размерности

По результатам исследований автор отмечает, что во всех способах плавания пловец передвигается за счет движений руками и ногами, и сила тяги является результирующей, слагаясь из силы тяги, полученной от работы обоих движителей. Если на тело одновременно действует несколько сил, то результирующее ускорение будет равно геометрической сумме ускорений, сообщаемых телу каждой силой в отдельности. Другими словами, каждая сила сообщает телу соответствующее ускорение независимо от действия других сил. Принимая во внимание этот закон, следует признать ошибочным мнение о том, что на фоне большего ускорения за счет работы руками, ноги уже не могут создавать дополнительной скорости, а лишь удерживают тело в горизонтальном положении. Закон независимости действия сил дает возможность упростить решение задач движения тела путем сложения сил (ускорений) или разложения одной какой-то силы на составляющие.

А.И. Погребной установил, что вскрытые закономерности при исследованиях траектории движений кисти и стопы можно положить в основу деления механизма образования движущих сил на два типа: колебательный и толкательный. В кролевидных способах плавания по колебательному типу работают кисть в начальной и завершающей фазах и стопа при движениях вверх и вниз. Создание движущих сил по этому типу представляется относительно простым делом. Простота заключается в том, что пловец прикладывает свои усилия только для продвижения гребущего элемента под углом атаки во фронтальной плоскости. Создание движущих сил по

толкательному типу представляется более сложным явлением, поскольку здесь одновременно решаются две задачи: создание упора и реализация его в движении тела. (Погребной А.И. *Научно-педагогические основы начального обучения плаванию в школьном возрасте : дис. ... д-ра. пед. наук. Краснодар, 1997. С. 276–297*)

В практике подготовки пловцов высокого класса были применены современные тренажеры, которые эффективно использовались для управления тренировочным процессом. Так авторами В.Ю. Давыдовым, А.В. Петряевым, А.С. Синициным и А.Н. Королевичем для оценки динамических параметров техники был применён Аэро-резистивный модернизированный тренажер «АРТ - 2».

Диагностика специальной физической подготовленности юных пловцов осуществлялась на основании оценки скоростно - силовой подготовленности и локальной силовой выносливости на компьютерном диагностическом стенде «АРТ - 2». Аэро-резистивный модернизированный тренажер «АРТ - 2», разработанный в секторе комплексных спортивных и оздоровительных технологий с биологической обратной связью, моделирующий условия водной среды по параметрам «усилие - скорость». Основу аэрорезистивного тренажера составляет механический блок, моделирующий условия выполнения соревновательного упражнения, в котором за счет специально подобранного соотношения массы и воздушного сопротивления поглотителя энергии, возвратного механизма и передаточного числа на линии взаимодействия спортсмена с тренажером, смоделированы характеристики, соответствующие реальному плаванию (*Исследование динамических параметров техники плавания юных пловцов с использованием «АРТ - 2» / В.Ю. Давыдов, А.В. Петряев, А.С. Синицин, А.Н. Королевич // Библиография. 2015.С. 31*).

Проводя анализ зафиксированных показателей, авторы установили, что выбирать нужно те значения, которые в наибольшей степени отражают уровень скоростно - силовой подготовленности. Среди них:

- среднецикловая мощность в цикле гребков в тесте на 10 гребков (Вт)

- отношение мощности среднего цикла к весу спортсмена (Nср.цикл/вес(Вт/кг) / T 10).

Таблица 1 - Показатели мощности в силовом и скоростном тренировочном режиме на дистанции 100 метров кролем на груди у пловцов при работе на «АРТ - 2» (Исследование динамических параметров техники плавания юных пловцов с использованием «АРТ - 2» / В.Ю. Давыдов [и др.] )

Показатели / тесты		Силовой режим		Скоростной режим	
Подгруппа 1		Подгруппа 2		Подгруппа 2	
X±σ		X±σ		X±σ	
N ср.цикл. (Вт) / T-10 гр.	127,8±16,0	103,16±20,8	112,82±4,9	95,84±18,6	
Nср.цикл/вес (Вт/кг) / T-10гр.	2,07±1,36	1,77±1,35	1,82±1,45	1,64±1,29	
N ср.цикл (Вт) / T-1 мин.	111,04±13,2	91,9±21,5	100,21±4,7	87,02±20,1	
Nср.цикл/вес (Вт/кг) / T-1 мин.	1,79±1,29	1,75±1,36	1,62±1,31	1,40±9,28	
Всего n:	10	50	10	50	

Авторы выделяют, что наибольшие показатели мощности в тесте десяти гребков ср. цикле (ВТ/Т 10) в силовом и скоростном режиме имеют пловцы первой подгруппы. По результатам анализа выделяется существенный отрыв результатов первых 10 пловцов от остальных групп по показателям абсолютной и относительной величины среднецикловой мощности (Исследование динамических параметров техники плавания юных пловцов с использованием «АРТ - 2» / В.Ю. Давыдов [и др.] ).

#### 1.4 Энергетические затраты и особенности техники плавания

На сегодняшний день большинство научных работ в спортивном плавании посвящены исследованиям кинематическим и кинетическим характеристик техники всех четырех способов плавания. Однако, не требует доказательств то, что для плавания функциональные способности также имеют решающее значение. Следовательно, вопрос заключается не просто в

том, как максимально увеличить величину продвигающих сил и свести к минимуму сопротивление, а скорее, как это сделать с ограниченными энергетическими потерями для организма пловца. Поэтому для подготовки пловцов важно понимать, как скорость плавания, сопротивление и плавучесть влияют на расход энергии.

Для определения затрат энергии в плавании использовались различные процедуры. На измерениях величин потребления кислорода вовремя и сразу после плавания основан косвенный метод оценки затрат энергии. Однако уровень потребления кислорода напрямую связано с интенсивностью работы только тогда, когда пловец работает в устойчивом состоянии и менее 50 - 70% от максимального поглощения кислорода ( $VO^2max$ ).

Для оценки количества кислорода, потребляемого во время плавания, были разработаны различные методы. Так П. Карпович предлагал пловцам проплыть 50 м с задержкой дыхания. Выдыхаемый воздух собирался в течение 20-40 минут по завершении заплыва, чтобы определить величину кислородного долга (*Karpovich P.V., Pestrecov K. Mechanical work and efficiency in swimming crawl and back strokes // Arbeits physiologie. 1938 / 39. № 10. P. 504–514 ; Karpovich P.V., Millman N. Energy expenditure in swimming // Am J. Physiol. 1944. № 142. P. 140–144*). Эта же методика была принята М. Адрианом и В. Клиссоуром (*Åstrand P.O., Rodahl K. Textbook of Work Physiology. New York : Mc Graw-Hill, 1977 ; Adrian M.J., Singh M., Karpovich P.V. Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke // Journal of applied physiology. 1966. № 21. P. 1763–1766*).

Эта методика имеет основное преимущество в связи с тем, что пловец во время плавания не стеснен используемой аппаратурой (дыхательный клапан и шланги). Прямые измерения расхода энергии также выполнялись во время плавания на привязи, (*Maximal oxygen uptake during free, tethered, and flume swimming / A. Bonen, B.A. Wilson, M. Yarkony, A.N. Belcastro // J. appl physiol. 1980. № 48. P. 232–235 ; Magel J.R., Faulkner J.A. Maximum oxygen uptakes of college swimmers // J. applied physiol. 1967. № 22. P. 929–938 ; Magel J.R. Comparison of the, physiologic response to varying intensities of submaximal work in tethered swimming and treadmill running // J. sport med. 1971. № 11. P. 203–212*), в гидроканале (*Adaptations to interval training at common intensities and*

*different work: rest ratios / A.P. Barzdukas, P. Franciosi, S. Trappe, C. Letner, J.P. Troup // Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI. / MacLaren D., Reilly T., Lees A., eds. London : E & FN Spon, 1992. P. 189–194 ; Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume / L.J. d'Acquisto, M. Bone, S. Takahashi, G. Langhans, A.P. Barzdukas, J.P. Troup // Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI / MacLaren D., Reilly T., Lees A., eds. London : E & FN Spon, 1992. P. 201–206 ; Holmér I. Oxygen uptake during swimming in man // J. Appl Physiol. 1972. № 33. P. 502–509 ; Holmér I. Physiology of swimming man // Acta physiol scand suppl. 1974. № 407. P. 1–55 ; Holmér I. Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles // European j. applied physiology. 1974. № 33. P. 105–118), а также во время плавания в бассейне (Girl swimmers with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects / Astrand P.O., Eriksson B.O., Nylander I., Engstrom L., Karlberg P., Saltin B. // Acta Paediatrica, Suppl. 1963. – № 147. – P. 43–70 ; Chatard J.C., Lavoie J.M., Lacour J.R. Analysis of determinants of swimming economy in front crawl // Eur J. appl physiol. 1990. № 61. P. 88–92 ; Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers / Handel P.J. van, A. Katz, J.R. Morrow, J.P. Troup, J.T. Daniels, P.W. Bradley // Swimming Science V / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. Champaign, Ill : Human kinetics books, 1988. P. 219–227 ; McArdle W.D., Glaser R.M., Magel J.R. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking // J. appl physiol. 1971. № 30. P. 733–738 ; The mechanical efficiency of front crawl swimming / H.M. Toussaint, W. Knops, G. de Groot, A.P. Hollander // Med sci sports exerc. 1990. № 22. P. 402–408).*

При постоянной скорости плавания значительная часть затрат энергии используется для преодоления сопротивления. Как было отмечено выше, сопротивление связано с квадратом скорости ( $D=Kv^2$ ). Следовательно, мощность преодоления сопротивления ( $Pd$ ) связана со скоростью в кубе и коэффициентом сопротивления ( $Pd=Kv^3$ ) (Prampetro P.E. The energy cost of human locomotion on land and in water // Int J. sports med. 1986. № 7. P. 55–57 ; Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G. de Groot, H.H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // Journal of biomechanics. 1988. № 21. P. 435–438).

Исследования использования плавательных костюмов у триатлонистов показали, что повышение плавучести в значительной степени снижает расход энергии (Montpetit R.R., Cazorla G., Lavoie J.M. Energy expenditure during front crawl

*swimming: a comparison between males and females // Swimming Science V / Ungerechts B.E., Reischle K., Wilke K., eds. Champaign, Ill. : Human kinetics books, 1988. P. 229–235).*

Как отмечалось выше, генерация продвигающих движущей сил в плавании отличается от движения по суше. Из-за большой массы твердая поверхность испытывает неопределяемое, и следовательно, незначительное ускорение.

Аналогичным образом, в водной среде продвижение пловца возникает благодаря отталкиванием гребущих поверхностей от воды. Однако в этом случае ускорение воды нельзя игнорировать (Рисунок 6). Более формально, по второму закону движения Ньютона, сила  $F$ , необходимая для придания массы  $m$ , ускорение  $du / dt$  дается определяется уравнением 5:

$$F = m \cdot du / dt \quad (\text{Уравнение 5})$$

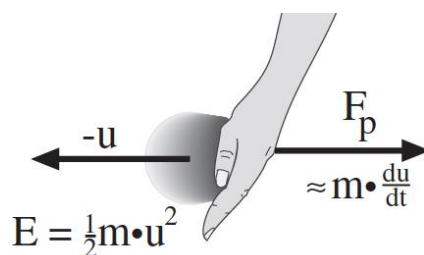


Рисунок 6 – Движущая сила  $F_p$  создается путем отталкивания рукой массы воды  $m$  с изменением скорости  $du / dt$ . Следовательно, отталкиваемая масса воды приобретает кинетическую энергию ( $0,5 \cdot m \cdot u^2$ )

Эта кинетическая энергия является результатом работы пловца, при отталкивании массы воды. Следовательно, часть общей механической работы, которую выполняет пловец, преобразуется в кинетическую энергию воды, а не в продвижение пловца вперед (Toussaint, H. M., Hollander, A. P., Berg, C. v. d., & Vorontsov, A. (2000)).

Поскольку импульс массы воды ( $m$ ), движущейся со скоростью ( $u$ ), равен  $m \cdot u$ , то, (согласно уравнению 5), сила, приложенная к массе воды, равна скорости изменения импульса. Независимо от гидродинамических характеристик движения (сопротивление, подъемной сил, присоединенных



вихрей вихрь, толчок, который продвигает пловец вперед, генерируется путем отталкивания массы назад (Рисунок 6).

Предположим, что пловец создает силу  $F$ , необходимую для плавания со скоростью  $v$ , создавая некоторому количеству воды скорость  $(-u)$ . Таким образом, масса жидкости приобретет изменение импульса (действие = реакция). Следовательно, кинетическая энергия  $(0.5m*u^2)$ , переданная воде в единицу времени, равна силе, действующей на массу воды ( $F$ ), умноженную на скорость  $(u)$ :  $F*u$ . Это мощность ( $Pk$ ), потребляемая при движении воды назад, при подаче кинетической энергии, которая теряется в энергии.

Если допустить, что пловец плывет с постоянной скоростью, то в этом случае силы сопротивления должны равняться продвигающим силам. Мощность, необходимая для продвижения пловца воде равна  $F*v$ . Этот показатель можно назвать полезной силой. Также можно определить и эффективность, известную как эффективность Фруда или эффективность движения ( $e_p$ ) (Alexander R.M. *Swimming*. In: Alexander R.M., Goldspink G., eds. *Mechanics and Energetics of Animal Locomotion*. London : Chapman and Hall, 1977. P. 222– 249 ; *Propelling efficiency of front crawl swimming* / H.M. Toussaint, A. Beelen, A. Rodenburg, A.J. Sargeant, G. de Groot, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // *Journal of applied physiology*. 1988. № 65. P. 2506–2512).

$$\text{propelling efficiency} = \frac{\text{useful power}}{\text{useful power} + \text{power lost to water}} = \frac{v}{v+u} \quad (\text{Уравнение - 6})$$

Из уравнения 6 следует (поскольку  $u$  не будет намного меньше  $v$ ), что генерация движителя в жидкости всегда приведет к потере механической энергии пловца, которая будет передаваться в виде кинетической энергии в жидкость. Два аспекта этого анализа важны для плавания человека:

- потери мощности значительны ( $e_p \ll 100\%$ ),
- потери мощности при плавании сильно зависят от техники.

При изучении эффективности плавания рыб было установлено, что для форели при скорости плавания от 20% от максимальной, эффективность движения ( $e_p$ ) равна 15%, а на максимальной скорости  $e_p = 80\%$  (Webb P.W. *The swimming energetics of trout II: Oxygen consumption and swimming efficiency* // *J. exp. biol.* 1971. № 55. P. 521–540).

Даже если предположить, что люди могут использовать технику плавания так же эффективно, как форель, все же 20% доступной механической мощности будет «потеряно» для перемещения воды назад, вместо того, чтобы перемещать пловца вперед. Следовательно, значительное количество механической мощности не передается напрямую в продвижение пловца. Фактически, как показали многочисленные исследования, эффективность движения ( $e_p$ ) у плывущего человека значительно меньше.

Из вышесказанного, можно сделать вывод, что энергетическая эффективность движений пловца зависит, естественно, от механизмов организации этого движения, т.е. гидродинамических и биомеханических характеристик техники плавания.

Эффективность выше, когда пловец ускоряет большую массу воды в единицу времени до низкой скорости, чем, если бы он использовал ту же силу, ускоряя меньшую массу до высокой скорости (уравнение - б) (Alexander R.M. *Swimming // Mechanics and energetics of animal locomotion* / Alexander R.M., Goldspink G. eds. London : Chapman and Hall, 1977. P. 222–249). Или, как отмечал Дж. Консилмен (1971), техника должна быть такой, чтобы количество воды, от которой отталкивается или «опирается» рука, было как можно больше.

Таким образом, плавание с одинаковой скоростью, требующей создания одинаковой продвигающей силы, может иметь разные связанные с этим затраты энергии в зависимости от используемой техники плавания (Counsilman J.E. *The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water* // *Swimming I* / Lewillie L., Clarys J.P., eds. Brussels : Université Libre de Bruxelles, 1971. P. 59–71). Исходя из этого, по мнению Дж Грута (1998), для достижения максимальной скорости пловец должен использовать оптимальную

продвигающую силу при оптимальной эффективности движения с минимальными силами сопротивления (*Groot G. de, Ingen Schenau G.J. van. Fundamental mechanics applied to swimming: Technique and propelling efficiency / Groot G. de, Ingen Schenau G.J. van. // Swimming Science V / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. Ill. : Human kinetics books, 1988. P. 17–30*).

Законы гидродинамики, применительно к плаванию рыб, показали, что требование увеличения поступательного движения пловца с одновременным снижением потери мощности, могут быть частично решены за счет правильного использования подъемных сил, возникающих на гребущих поверхностях. (*Lighthill M.J. Mathematical body fluid dynamics. Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics, 1975. 281 p. ; Payton C.J., Bartlett R.M. Estimating propulsive forces in swimming from 3-dimensional kinematic data // J Sport Sci. 1995. № 13. P. 447–45 ; Berger M.A.M., Groot G. de, Hollander P. Hydrodynamic drag and lift forces on human hand / arm models // Journal of Biomechanics. 1995. № 28. P. 125–133 ; Schleihauf R.E., Gray L., De Rose J. Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint front crawlstroke // Biomechanics and Medicine in Swimming / Hollander A.P., Huijing P.A., Groot G. de, eds. Champaign, Ill. : Human Kinetics Publishers, 1983. P. 173–184*).

Эти выводы совпадают с результатами исследований Г.А. Гилева, где было установлено, что изменение направления движения кисти руки в подводной части гребка приводит, с одной стороны, к взаимодействию руки с большей массой воды, с другой - к падению скорости продвижения кисти в потоке воды. И чем резче это изменение, тем большее наблюдается падение скорости, а вместе с ней и величины результирующей силы опорной реакции. (*Гилев Г.А., Ломоносов В.В., Малиновский С.В. Эффективность продвижения пловца в кроле на груди // Теория и практика физ. культуры. 1976. № 12. С.10–11 ; Гилев Г.А., Ломоносов В.В. Об эффективности продвижения пловца // Теория и практика физ. культуры. 1986. № 1. С. 14–17*).

В исследованиях И.В. Чудовского, было также подтверждено, что наименьшая трата сил пловца на дистанции, происходит тогда, когда поддерживается оптимальное соотношение величин подъемных и тяговых сил. При скорости 2 м/сек. их соотношение должно быть 1:2, т. е. величина подъемных сил составляет половину тяговых сил. (*Чудовский В.И. Роль подъемных*

сил в спортивном плавании // *Плавание. М. : Физкультура и спорт, 1975. Вып. 1. С. 42–43*). Исследуя гидродинамические качества, как важный фактор технической подготовленности пловцов, И.В. Уголькова разработала 3 объективных метода их регистрации: по скорости, морфологическим характеристикам, длине и времени скольжения. (*Уголькова И.В. Гидродинамическое качество как фактор технической подготовленности пловца : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 1994. 24 с.*).

В некоторых исследованиях рекомендуется в практической деятельности изучать тяговые усилия пловцов при нулевой скорости (плавание на привязи на месте) (*Карташов И.П. Специализированное развитие силовых возможностей в тренировке пловцов-кролистов : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Л., 1985. 21 с.*). Однако в исследованиях С.М. Гордона (1968) было установлено, что действительный коэффициент сопротивления при плавании кролем мало отличается от показателей при буксировке в вытянутом положении (в пределах 20%). Действительная сила тяги получена в пределах 5,1 - 9,4 кГ, этот показатель меньше силы тяги, замеренной при помощи динамометра при нулевой скорости, в 1,6 - 2,5 раза. Создание на ходу эффективной силы тяги и ее поддержание на протяжении всей дистанции, очевидно, одна из наиболее сложных задач в совершенствовании техники и подготовке пловцов (*Гордон С.М., Ширковец Е.А. Гидродинамическое сопротивление и продвигающие силы пловца // Теория и практика физ. культуры. 1968. № 7. С. 17–21*).

Тем не менее, изучая зависимость коэффициента сопротивления от скорости потока, возраста и антропометрических в гидроканале, эти авторы установили, что коэффициент сопротивление ( $K_c$ ) существенно меняется в зависимости от скорости потока. Наименьшие его значения наблюдаются при скорости 0,7 - 0,9 м/с. С увеличением скорости он возрастает, что особенно заметно у юных пловцов, где прирост достигает в среднем более 30 %. В практическом аспекте это означает, что пловец, выполняющий тренировочные упражнения на невысоких скоростях, на соревнованиях может оказаться неподготовленным к преодолению высокого сопротивления и соответственно к высоким энергетическим тратам (*Гордон С.М., Дмитриев Д.Р.,*

Чеботарева И.В. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости потока, возраста и антропометрических показателей // Теория и практика физ. культуры. 1985. № 4. С. 11–13).

В своих исследованиях С.В. Колмогоров (1991,1994) отмечает, что в случае установившегося нестационарного движения биологических объектов в водной среде метаболическая энергия с потерями преобразуется в механическую, которая (с дополнительными потерями) трансформируется в результат деятельности (*Гидродинамические характеристики элитных пловцов на различных этапах подготовки / С.В. Колмогоров, Г.Г. Турецкий, С.В. Койгеров, О.А. Румянцева // Теория и практика физ. культуры. 1991. № 12. С. 21–29 ; Kolmogorov S., Lyarin S. Biomechanics of a set unstationary active motion of biological objects in water environment: from concepts to technologies // Proceedings of VIII Conference Biomechanics and Medicine in Swimming / К. Keskinen, P. Komi, P. Hollander (Eds). Jyvaskyla, Gummerus Printing, 1999. P. 119–124*).

Этот процесс в спортивном плавании может быть формализован следующим уравнением:

$$V = \frac{P_i * e_g * e_p}{Fr(fd)} \quad (\text{Уравнение - 7})$$

где  $V$  - скорость плавания;  $P_i$  - затраченная мощность;  $e_g$  - валовая эффективность; т.е. отношение тотальной внешней механической мощности ( $P_{to}$ ) к  $P_i$ ;  $e_p$  - пропульсивная эффективность, т.е. отношение полезной внешней механической мощности ( $P_{uo}$ ) к  $P_{to}$ ;  $Fr(fd)$  - фронтальное гидродинамическое сопротивление. Это подтверждает результаты других исследований, что между энергетикой и механикой плавания человека на системном уровне существует функциональная связь (см. уравнение 6) (R. Webb, 1971; S. Pershin, 1988).

Однако закономерности активного и пассивного плавания принципиально различаются. Во-первых, индивидуальные показатели  $Fr(ad)$ ,  $Sx$  и  $P_{to}$  имеют значительный диапазон колебаний у одного пловца в течение тренировочного сезона. При активном плавании одна и та же предельная скорость может быть достигнута при различных гидродинамических

показателях, в то время как показатели пассивного движения  $Fr(pd)$  и  $Cx(pd)$  довольно консервативны, в основном полностью зависят от скорости и хорошо аппроксимируются уравнением гидродинамической реакции.

Как было сказано выше, в спортивном плавании различают пассивное ( $Pr(pd)$ ) и активное гидродинамическое сопротивление ( $Pr(ad)$ ).

Определение ( $Pr(pd)$ ) не вызывает затруднений и производится в стандартном положении тела испытуемых в позе скольжения. Для оценки  $Fr(ad)$  разработано несколько различных методов (*Energetics of swimming man / Di Prampero P. E., Pendergast D. R., Wilson D. R. and Rennie D.W. // J. Appl. Physiol., 1974. 37. P. 1–5 ; A power balance applied to swimming / H.M. Toussaint, F.C.T. van der Helm, J.R. Elzerman, A.P. Hollander, G. de Groot, G.J. van Ingen Schenau // Biomechanics and medicine in swimming / Edited by Hollander A. P., Huijing P. A., de Groot G. Champaign : Human Kinetics, 1983. P. 165–172 ; Vaart A. J. M. van de, Savelberg H.H.C. M., Groot G., de, Hollander A.P., Toussaint H.M. and Ingen Schenau G. J. van. An estimation of active drag in front crawl swimming // J. Biomech., 1987. № 20, P. 543–546*). Каждый из которых имеет определенные недостатки. Основной из них - нарушение динамического подобия по безразмерному числу на базе критерия Струхала ( $Sh$ ) в процессе тестирования:

$$Sh = \frac{d}{\Delta V \cdot T} \quad (\text{Уравнение - 8})$$

$d$  - длина шага,  $T$  - время цикла,  $\Delta V$  - разница между максимальной и минимальной скоростью в цикле.

Кроме того, достаточно большая величина ошибки и большая трудоемкость проведения экспериментальных исследований не позволяют индивидуализировать определение  $Fr(ad)$  и проводить его регулярно в процессе подготовки.

В экспериментальных исследованиях, проводимых С.В. Коломогоровым и др., были обследованы 103 пловца, которые готовились в составе национальной команды СССР.

Значения пассивного сопротивления, полученные, по определению авторов, совпадают с данными, приводимыми в специальной литературе (*Clarys J. P. Human morphology and hydrodynamics // Swimming 111 (Edited by Terauds J. and Bedingfield E.W.), 1979. P. 3–43*). Значения активного сопротивления имеют

большие индивидуальные колебания, поэтому не имеет смысла определять средние арифметические величины для групп спортсменов по способам плавания, так как в этом случае размывается цель исследования. Отдельные индивидуальные значения  $Fr\{ad}$  совпадают с результатами, полученными с помощью *MAD - system (Measuring Active Drag, Vaart et al. 1987)* (*Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G. de Groot, H.H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schena // Journal of biomechanics. 1988. № 21. P. 435–438*).

Парадоксальные результаты были получены при сопоставлении активного и пассивного сопротивлений, так как в трех способах плавания, за исключением брасса, зарегистрированы случаи, когда активное сопротивление меньше пассивного. В доступной литературе авторы не обнаружили таких результатов, так как применение известных методов определения активного сопротивления (за исключением метода, применяемого в работе (*Toussaint, H.M. et al., 1988*)) приводит к нарушению в процессе исследования динамического подобия по числу *Струхалия (Sh)*.

Таким образом, по результатам исследований были сделаны выводы, что элитные пловцы способны при повышении предельной скорости плавания параллельно снижать величину активного гидродинамического сопротивления за счет повышения эффективности функционирования системы плавательных движений. Другими словами, снижение активного гидродинамического сопротивления, происходящее при совершенствовании техники плавания, является причиной повышения скорости. На различных этапах подготовки целесообразно применять упражнения, которые позволяют тренировать работу движителей на высоких скоростях, без нарушения при плавании динамического подобия по числу *Струхалия (Sh)* (*Колмогоров С.В. Кинематические и динамические характеристики установившегося нестационарного движения элитных пловцов // Российский журнал биомеханики. 2008. Т. 12, № 4 (42). С. 59–74*).

## 1.5 Биологические характеристики движений пловца

При определении методологических аспектов применения электромиографии Л.Л. Ципин отмечает, что электромиография, представляющая собой запись биоэлектрической активности мышц (электромиограмм - ЭМГ), в последнее время находит широкое применение в спортивно-педагогических исследованиях. Одним из первых электромиографическую методику при комплексном анализе двигательных действий использовал И.М. Козлов (*Козлов И.М. Биомеханические факторы организации движений у человека : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.13. Л., 1984. 307 с.*).

Впоследствии на ее основе изучались особенности регуляции движений в разных видах спорта, включая бег на короткие и длинные дистанции, единоборства, тяжелую атлетику и другие (*Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография. Великие Луки : [б.и.], 2005. 227 с.*).

Несомненную перспективность применения поверхностной электромиографии в биомеханике, эргономике и спорте как не инвазивного и информативного метода отмечают ведущие специалисты в этой области (*Critical appraisal and hazards of surface electromyography data acquisition in sport and exercise / J.P. Clarys, A. Scafoglieri, J. Tresignie, T. Reilly, P.V. Roy // Asian Journal of Sports Medicine. 2010. №1 (2). P. 69–80 ; Surface electromyography application in the sport / N. Masso, F. Rey, D. Romero, G. Gual, L. Costa, A. German // Apunts Med Esport. 2010. Vol. 45 (165). P. 121–130.*

Вместе с тем, сами электромиограммы, выводы и практические рекомендации, сделанные на их основе, существенно зависят от методических особенностей проводимых экспериментов. В работах по спортивной тематике этому обстоятельству не всегда уделяется должное внимание. В частности, при исследовании порядка включения или длительности активности мышц обычно рассматриваются одна или несколько наиболее крупных мышц, входящих в группу синергистов, обеспечивающих движение. Затем на этом основании делается заключение о работе всей мышечной группы. Правомерность такого подхода требует доказательств. Еще менее обоснована



необходимость регистрации активности отдельных частей мышц при движениях с разной интенсивностью (*Ципин Л.Л. Методологические аспекты применения электромиографии при изучении спортивных движений разной интенсивности // Ученые записки университета. 2015. № 8 (126). С. 189–193).*

Наиболее развернутую методику использования электромиографии в плавании разработал Ю.В. Мельков. На основании этой методики он исследовал координационную структуру силовых упражнений в специальной силовой подготовке пловцов и обосновал их применение (*Мельков Ю.В. исследование координационной структуры силовых упражнений в специальной силовой подготовке пловцов и обоснование их применения : дис. ... канд. пед. наук. Л., 1973. 168 с.*).

Однако, еще в 1965 году Г.А. Щавлевым с сотрудниками с помощью СМГ-методики было установлено, что специфичность каждого способа плавания оказывает строго определенное влияние на развитие силы отдельных групп мышц (*Шавлев Г.А., Борисенко В.М. Контроль за силовой подготовкой пловца // Теория и практика физ. культуры. 1966. № 7. С. 9–11*). Несколько позднее В.В. Белоковский наряду с электрической активностью мышц дал характеристику опорных реакций при плавании кролем на груди (*Белоковский В.В. Исследование и совершенствование некоторых основных характеристик техники плавания кролем : автореф. ... дис. канд. пед. наук. М., 1968. 24 с.*). Но в этих работах не были представлены результаты проявления электрической активности во время плавания с одновременной регистрацией внешней картины движений, что затрудняло составить четкое представление о координационной структуре движений при плавании в различных фазах гребка (*Ю.В. Мельков, 1973*).

Необходимо отметить, что за рубежом также с начала 60-х годов было проведено исследование нейромышечной активности пловцов (*Ikaletal., 1964*). Однако в течение длительного времени такие исследования были просто качественными, с недостаточной направленностью на получения количественных характеристик этого явления. Так авторы установили, что разгибатели рук в локтевом суставе имеют более высокую активацию, чем сгибатели и бицепсы при выполнении гребковых движений во всех способах

плавания, кроме брасса (*Ikai M. Ishii K., Miyashita M. An electromyographic study of Swimming // Journal of physical education. 1964. № 7. P. 47–54*).

Впоследствии электрокимографическая оценка активности мышц (ЭМГ), использованная этими авторами стала основой для характеристик плавательного гребка и была использована в некоторых популярных учебниках (*Catteau R., Garoff G. L'enseignement de la natation, Edition vigot, Paris // The Science of Swimming / J. Counsilman. NewYork : Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1968*).

Однако, необходимо отметить, что по сравнению с исследованиями кинематики и кинетики нейромышечные исследования используются меньше, что видимо связано с трудностями использования этих методик в водной среде. Качественная ЭМГ опирается на оценку форм волновой формы нервно-мышечной активности в графической демонстрации. Основываясь на визуальной интерпретации сигнала ЭМГ, можно описать нейромышечную активацию в соответствии с временными параметрами.

В большинстве случаев амплитуда и длительность биосигнала используются в качестве установления наличия сокращения мышцы на данный момент времени. Однако сигнал ЭМГ не является оценкой производимой мышечной силы. С другой стороны, анализируя продолжительность мышечной активации, можно наблюдать, активна или неактивна мышца. Кроме того, можно установить шаблоны синхронизации для динамических движений и уровень межмышечной координации (*Barbosa T.M. et al. Biromantics of Competitive Swimming Stroke / Biomechanicsin Aplications. 2007*).

Для исследований в плавании основное внимание уделялось пониманию динамики нервно-мышечной активности мышц конечностей и тела пловца.

Так Л. Льюилли (1973) провел исследования ЭМГ во время проплыва пловцов четырьмя способами плавания в трех скоростных режимах: медленный, средний и максимальный и установил, что наивысшая нервно-мышечная активность наблюдалась при плавании баттерфляем (*Lewillie L. Muscular activity in swimming // Biomechanics III. Basel : Karger, 1973. P. 440–445*). Г.

Наберидр с соавторами наблюдали высокую активацию надкостной мышцы, подкостной мышцы, боковых и передних пучков дельтовидной мышцы во время фазы проноса в баттерфляе и выведения рук вперед в брассе, а широчайшая мышца спины и большая грудная мышца находились в растянутом состоянии (*Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming / G.W. Nuber, F.W. Jobe, J. Perry, D.R. Moynes, D. Antonelli // American journal of sports medicine. 1986. № 14. P. 7–11*).

Позднее, аналогичная активация во время плавания кролем была отмечена Pinke M. (1991) для грудной майоры и широчайшей мышцы спины. Авторы также наблюдали высокую активацию для трех головок дельтовидной мышцы и надкостной мышцы во время выхода руки из воды в фазе окончания гребка и при входе руки в воду (*The normal shoulder during freestyle swimming. An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles / M. Pink, J. Perry, A. Browne, M.L. Scovazzo, J. Kerrigan // American journal of sports medicine. 1991. № 19. P. 569–576*).

Количественные электрокимографические исследования анализируют тонкие изменения в структуре мышечных волокон, которые обычно не оцениваются при качественном анализе ЭМГ. Этот подход сочетает графическую интерпретацию с численными данными обработки для описания нейромышечной активации. Анализ амплитуды и продолжительности активности мышц улучшается с использованием нескольких процедур обработки данных. На регулярной основе исследователи используют некоторые количественные переменные, включая среднеквадратичную (*RMS*) и пороговые модели для этой цели во временных параметрах. *RMS* считается наиболее значимым методом, поскольку он устанавливает величину мощности сигнала.

Пороговые интервалы также информативны для исследований, потому что они более четко разделяют начало и конец каждого сокращения мышцы. Оба метода требуют использования автоматических алгоритмов, которые извлекают и анализируют потенциал двигательных единиц действия.

Алгоритмы могут одновременно идентифицировать несколько волновых активности мышц, чтобы облегчить получение большего количества данных за меньшее время (*Quantitative motorunit potencial analysis / E. Stalber, S. Nandedkar, D. Sanders, B. Falck // Journal of clinical neurophysiology. 1996. № 13. P. 401–422*).

Другим подходом, используемые в количественной оценке ЭМГ, является спектральный анализ. Это позволяет изменить сигнал от временной области до частной области. По существу, это даёт оценку того, какой вклад имеет каждая частота для оригинального знака.

Основное применение спектрального анализа в плавании - это изучение мышечной усталости и ее связи с кинематикой конечностей. Так при развитии усталости у пловцов во время выполнения в тестах 4x100 в/с было установлено, что пространственные характеристики гребка сохраняют свою стабильность, мышечная активность больших групп мышц, участвующих в гребке, снижается, а мышц-антагонистов повышается (*Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes / Aujouannet, Y.A., Bonifazi M., Hintzy F., Vuillerme N., Rouard, A.H. // Applied Physiology Nutrition and Metabolism. 2006. № 31. P.150–158 ; Rouard, A.H.; Billat, R.P.; Deschodt, V. & Clarys, J.P. Muscular activations during repetitions of sculling movement sup to exhaustion in swimming. Archives Of Physiology and Biochemistry. 1997. № 105. P. 655–662 ; Caty V., Aujouannet Y.A., Hintzy F., Bonifazi M., Clarys J.P. & Rouard A.H. Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming // Journal of electromyography and kinesiology. 2007. № 17. P. 285–291*).

Динамика повышения утомления при плавании на 100 м в/с показала одновременное увеличение активности широчайшей мышцы спины и трицепсов, которые естественным образом играют ведущую роль в выполнении продвигающей фазы гребка (*Fatigue analysis of 100 meters all-out front crawl using surface EMG / I. Stirn, T. Jarm, V. Kapus, V. Strojnik // Biomechanics and Medicine in swimming XI / P.L., Kjendlie, R.K. Stallman, J. Cabri (Eds.). Oslo : Norwegian school of sport sciences, 2010. P. 168–170*).

При увеличении дистанции плавания до 200 м. западение скорости на последних отрезках совпадает с увеличением показателей усталости для лучевого сгибателя запястья, бицепса, длинной головки трицепса, большой грудной мышцы, трапециевидной мышцы и двуглавой мышцы бедра (*Figueiredo P., Sousa A., Goncalves P., Pereira S.M., Soares, S., Vilas-Boas J.P., Fernandes R.J. Biophysical Analysis of the 200m Front Crawl Swimming: a Case Study // Biomechanics and Medicine in Swimming XI / P.L. Kjendlie, R.K. Stallman & J.Cabri (Eds.). 2010. P. 79–81).*

Развивая современную систему подготовки спортсменов в олимпийском спорте, В.Н. Платонов (2004) определяет, что совершенствование функциональных возможностей мышц должно опираться на знание механизмов регуляции двигательной деятельности. Повышение активности мышечной деятельности всегда обеспечивается включением в работу дополнительных двигательных единиц и усилением стимуляции уже работающих двигательных волокон. С учетом современной теории последовательного включения двигательных единиц, с начала в работу включаются наиболее мелкие мотонейроны, а повышение интенсивности работы обеспечивается включением в этот процесс более крупных двигательных единиц (*Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические применения. Киев : Олимп. лит., 2004. 808 с.*).

Существует большая разница между крупными и мелкими двигательными единицами. В составе икроножной мышцы человека самая большая двигательная единица развивает напряжение в 200 раз больше, чем самая мелкая. Естественно, для повышения интенсивности работы мышц в работу включаются более крупные двигательные единицы, а при предельных напряжениях все двигательные единицы вовлекаются в работу не последовательно, а практически одновременно (*Эвартс Э. Механизмы головного мозга, управляющие движением // Мозг. М. : Мир, 1984. С. 199–218 ; Behnke R.S. Kinetic Anatomy. 2 ed. Human Kinetics, 2006. 208 p.*).

В своих исследованиях Д. Костелл установил, что количество и тип

мышечных волокон, включенных в работу, регулируется нервной системой в зависимости от величины сопротивления или от силы, которую должна развивать мышца, а не от скорости сокращения мышечных волокон (*Effects of reduced training on muscular power in swimmers / D.L. Costill, D.S. King, R. Thomas, M. Hargreaves // Physician and Sportsmedicine. 1985. № 13. P. 94–101 ; De Vries H.A., Housh T. Physiology of Exercise. Madison Wisconsin : WCB Brown and Benchmark Publ., 1994. 636 p.*).

Таким образом, по мнению В.Н. Платонова, первыми в работу вовлекаются двигательные единицы медленного сокращения - самые мелкие из типов двигательных единиц. Если они не способны развить необходимую силу, рекрутируются двигательные единицы быстрого сокращения: например, во время медленного плавания большая часть продвигающей силы создается МС-волокнами. С ростом скорости и уровня приложения усилий в работу вовлекаются БСа-волокна. Когда необходимо проявление максимальной силы, в работе участвуют, кроме первых двух типов, БСб-волокна (Платонов В.Н., Булатова М.М. *Физична шдготовка спортсмена. Киев : Олимп. лит., 1995. 320 с.*).

Исследователи склоняются к мнению, что структура мышечных волокон у каждого человека обусловлена генетическими факторами. Вместе с тем установлено, что влияние нагрузок различной преимущественной направленности приводит к различным изменениям морфологических, физиологических и биохимических свойств мышечных волокон.

Под воздействием упражнений силовой направленности трансформация свойств мышечных волокон происходит в следующей последовательности: МС (медленные волокна) приобретают свойства быстрых волокон типа а (БСа), а волокна типа БСа – соответственно свойства волокон типа БСв. Тренировка, направленная на развитие выносливости, вызывает обратный процесс: БСб-волокна приобретают свойства БСа-волокон, а БСа-волокна – свойства МС-волокон.

Это связано с тем, что морфологические, физиологические и биохимические характеристики различных типов мышечных волокон изменяются в процессе тренировок с различной преимущественной

направленностью. Под влиянием скоростных и скоростно-силовых нагрузок, а также силовой направленности, размеры и объем БС-волокон увеличивается. Одновременно повышается их гликолитическая способность. При тренировке на выносливость оксидативный потенциал МС-волокон может возрасти в 2 - 4 раза.

Более того, использования значительных объемов тренировок, направленных на развитие выносливости, повышает возможности окислительного способа энергообеспечения не только БСа-волокна, но и БСб-волокон. Однако это может привести к такой значительной трансформации БСб-волокон, что их вообще нельзя обнаружить в поперечном срезе мышц.

Таким образом, эти изменения приводят к значительному снижению скоростных и скоростно-силовых возможностей спортсмена. Особенно важно такую трансформацию мышечных волокон учитывать при планировании подготовки пловцов. Это связано с тем, что более 80% соревновательных дистанций в спортивном плавании требует проявления скоростных возможностей и скоростной выносливости. Тем более, необходимо учитывать тот факт, что специалисты пока не смогли установить эффективные средства обратного восстановления свойств мышечных БС-волокон (*Essen B. Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise // Ann N.Y. Acad. Sci. 1977. № 301. P. 30–44 ; Jansson E., Kaiser L. Muscle adaptation to extreme endurance training in man // Acta Physiol. Scand. 1977. Vol. 100. P. 315–324*).

В связи с тем, что БС-волокна имеют более высокий порог возбуждения по сравнению медленно сокращающимися (МС) волокнами, то они реже включаются в работу при различных режимах мышечной деятельности. Потому разница величин порога возбуждения в различных типах мышечных волокон определяет порядок их включения в активную мышечную работу. При незначительных проявлениях мышечных усилий сначала в работу включаются двигательные единицы, имеющие низкий порог возбудимости, а при повышении силовой нагрузки или необходимости поддержания заданного мышечного напряжения, в работу включаются двигательные единицы,

которые имеют более высокий порог возбуждения (*Thomas C.K., Ross B.H., Calancie B. Human motor unit recruitment during isometric contractions and repeated dynamic movements // J. Neurophysiol. 1987. Vol. 57. P. 311–324 ; Kerned O. Spinal motoneurons and the muscle fibers: mechanisms and longterm consequences of common activation patterns // The segmental motor system / M. Binder, L.M. Mendel (Eds.). New York Oxford : Oxford University Press, 1990. P. 36–57).*

По мнению Н.В. Зимкина, важнейшей реакцией адаптации мышц к интенсивности мышечного сокращения является способность включать минимально необходимое количество двигательных единиц и в значительной мере обуславливает эффективность внутримышечной координации.

Эффективная адаптация к продолжительной мышечной работе связана с попеременным или последовательным включением двигательных единиц с различным типом двигательных волокон. Этот механизм предусматривает при условии возможной взаимной компенсации различными типами двигательных волокон выполнение функций новыми двигательными единицами взамен тех, которые испытывали на себе основную нагрузку. Если происходит снижение работоспособности всех двигательных единиц, то уровень интенсивности и продолжительности работы связано с усилением их нервной импульсации (*Wilmore J.H., Costill D.L. Physiology of sport and exercise. Champaign, Illinois : Human Kinetics, 2004. 726 p.*).

Очень важным видом адаптации в тех видах спорта, где тренировочная и соревновательная деятельность связана с около предельными или предельными отягощениями, является способность вовлекать в работу максимально возможное количество двигательных единиц (*Moritani T. Time course of adaptations during strength and power training // Strength and Power in Sport. Blackwell Sci. Publ., 1992. P. 266–278).*

Другим направлением адаптации мышц является улучшение межмышечной координации, связанное с совершенствованием деятельности мышц-антагонистов, обеспечивающих выполнение движения; мышц-синергистов, способствующих выполнению движения, и мышц-антагонистов, препятствующих выполнению движения. Рациональная координация



деятельности этих групп мышц не только обеспечивает высокую силу и скорость сокращения, точность выполнения движения, но и обуславливает экономичность работы.

Экономичность работы в той ее части, где это связано с деятельностью мышц-антагонистов, как установил М. Алтер, зависит от эластичности мышц, подвижности в соответствующих суставах. Так, незначительная эластичность мышц-антагонистов значительно затормаживает маховые движения в конце фазы, в силу чего снижается их амплитуда и экономичность. Систематическая тренировка приводит к устранению излишнего напряжения мышц-антагонистов при выполнении различных упражнений и одновременно обеспечивает эффективную координацию деятельности мышц-агонистов и мышц-синергистов в достижении конечного заданного эффекта (*Алтер М. Наука о гибкости. Киев : Олимп. лит., 2001. 424 с.*)

Связь эффективности внутримышечной и межмышечной координации с экономичностью работы и уровнем мастерства можно также проследить по показателям активности мышц спортсменов различной квалификации при выполнении стандартных нагрузок, у спортсменов высокой квалификации отмечается значительно меньшая электрическая активность мышц по сравнению с менее квалифицированными спортсменами. В то же время при выполнении предельных нагрузок у спортсменов высокого класса выявляется значительно более высокая активность мышц-антагонистов и мышц-синергистов по сравнению с лицами, не занимающимися спортом, или спортсменами невысокой квалификации. В отношении мышц-антагонистов проявляется обратная зависимость: чем выше квалификация спортсмена, тем меньше активность мышц.

В результате суммарной перестройки морфологических, биохимических и физиологических механизмов, обуславливающих эффективность приспособления организма человека к работе силового характера, сила мышц может возрасти в 2 - 4 раза (*Зимкин Н.В. Физиологическая характеристика особенностей двигательного аппарата к различным видам деятельности*

*// IV Всесоюзный симпозиум по физиологическим проблемам адаптации Талли. Тарту ; Минвуз СССР, 1984. С 73–75).*

Разветвление нейронов, в первую очередь определяется морфологическими и функциональными изменениями в нервной системе, вследствие чего может происходить увеличение ганглиозных клеток. Плотность костей способствует к изменениям и увеличению костной системы, влияет на эластичность и гипертрофию костных выступов в местах, где сухожилия прикрепляются к мышце. Эти особенности можно наблюдать у представителей таких видов спорта, с преимуществом по скоростно-силовым проявлениям. В тоже время у пловцов профессионалов нет существенных преобладаний в изменениях костной системы в сравнении с лицами, которые не занимаются спортом.

Было отмечено, что во время специальной тренировки сила способна вырастать в 1,5 - 2,5 раза относительно прироста мышечной массы. В практике выделяют два независимых механизма проявления и увеличения силы. Первый базируется на гипертрофии и изменениях гиперплазии мышечных волокон. Второй механизм связан с вовлечением большего числа двигательных единиц в момент синхронизации с нервной системой. Эти особенности напрямую отражаются на приросте силы.

Мышечная гипертрофия обусловлена постоянным чередованием белкового расщепления и белкового синтеза в момент силовых нагрузок. Чем лучше регуляция двигательных единиц в последовательности их рекрутирования с нервной системой, тем лучше проявляется уровень электромиограммы (*Sale D.G. Neural adaption to strength training // Strength and power in sport / P.V. Komi (ed.). Oxford : Blackwell, 1992. P. 249–265).*

Выполняя упражнения на высоких скоростях движений, мышечная сила способна также переноситься на более низкую интенсивность (*Counsilman J.E. Swimming power // Biokinetic Strength Training: Copyright. 1980. Vol. 1. P. 41–48*), а вот сила, полученная при помощи упражнений на относительно низких скоростях движений, не имеет прямого переноса на упражнения высокой интенсивности

выполнения (*Pipes T.V., Wilmore J.H. Muscular strength through isotonic and isokinetic resistance training // Athlet. J. 1976. Vol. 57. P. 42–45 ; Платонов, В.М., Булатова М.М. Физическая подготовка спортсмена. Киев : Олимп. лит., 1995. 320 с.*).

## 1.6 Заключение по первой главе

Таким образом, из анализа специальной литературы следует заключение, что в настоящее время существует необходимость дополнения существующих технологий кинематического анализа плавания человека экспериментальными динамическими характеристиками. Однако, отсутствие эффективных методик не позволяет определить количественно реальные внутрицикловые продвигающие силы и силы гидродинамического сопротивления, возникающие на уровне целостной биомеханической системы водных локомоций человека и сопоставить эти динамические характеристики с ключевыми кинематическими, т.е. внутрицикловыми показателями скорости и ускорения.

Вместе с тем, по мнению А.И. Погребного, техническое мастерство пловца проявляется в точности и своевременности коррекций, обеспечивающих приспособление к изменениям внешних условий решения двигательной задачи и к изменениям внутренней структуры действия. Однако в условиях выполнения сложных движений переход контроля на адекватный уровень приведет к тому, что образовавшиеся ранее механизмы контроля все равно разрушатся. Это обстоятельство определяет необходимость максимальной приближенности заданий, психотехнических приемов к реальным условиям плавания. Тем не менее, как отмечают многие авторы, проведение таких исследований в значительной степени осложнены условиями водной среды.

Все вышесказанное определило цель исследования: теоретически разработать и экспериментально обосновать методику коррекции техники спортивных способов плавания на основе анализа индивидуальных

кинематических и динамических характеристик плавательного цикла с использованием современных методов компьютерного видеоанализа и программного обеспечения, позволяющего получать данные об изменениях различных характеристик плавательного цикла в относительно короткие сроки.

## ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Организация исследования

Для решения поставленных задач работа проводилась в четыре этапа.

На первом этапе исследования, который проходил с мая 2016 года по январь 2017 года, проведен анализ и обобщение данных научно-методической литературы по изучаемой проблеме; вскрыты противоречия, обуславливающие необходимость разработки современных методик контроля и коррекции техники плавания. Это позволило сформулировать проблему, гипотезу, цель и задачи настоящего исследования; выбраны методы исследования, наиболее адекватно решающие поставленные задачи.

На втором этапе исследования с декабря 2016 года по апрель 2017 года был проведен формирующий педагогический эксперимент, который позволил научно обосновать критерии оценки колебаний внутрицикловых характеристик цикла плавательных локомоций. По результатам этого этапа были разработаны: Коэффициент гидродинамической добротности (КГДм) и Индекс динамической эффективности (ИДЭ) для анализа изменений кинематических и динамических характеристик в технике плавания.

На третьем этапе исследования, который проходил с апреля 2017 года по декабрь 2018 года, было осуществлено проектирование методики коррекции техники плавания кролистов с использованием разработанных показателей, организован и проведен констатирующий педагогический эксперимент по обоснованию эффективности применения данной методики в спортивной тренировке пловцов высокого класса.

На четвертом этапе исследования с декабря 2018 года по февраль 2019 года была систематизирована вся полученная информация и проведено литературное оформление диссертационной работы.

## 2.2 Методы исследования

Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования:

1. Обзор и анализ научной литературы
2. Педагогическое наблюдение
3. Проектирование
4. Педагогический эксперимент
5. Методы сбора и обработки текущей информации
6. Анализ и обобщение авторского опыта работы
7. Методы математической обработки материалов с их последующей интерпретацией

### 2.2.1 Обзор и анализ научной литературы

В ходе исследования было проанализировано свыше 200 научных источников из ресурсов библиотеки НГУ им. П.Ф. Лесгафта и ресурсов, размещенных в системе удаленного доступа. В процессе работы изучались основные направления и особенности технической подготовки пловцов высокого класса, определялись методики коррекции техники плавания, которые используются в практике подготовки пловцов. Были установлены внутрицикловые биомеханические характеристики плавательного цикла, различные системы оценок эффективности техники плавания.

Данный метод позволил сформулировать рабочую гипотезу, определить цель и задачи исследования, подобрать комплекс необходимых методов научного исследования, теоретически обосновать содержание разработанной методики.

### 2.2.2 Педагогическое наблюдение

Педагогические наблюдения проводились с целью выявления методических особенностей организации тренировочных занятий пловцов высокой квалификации на различных этапах цикла подготовки.

Педагогическое наблюдение проходило на базе бассейна ФГБОУ ВО НГУ им. П.Ф. Лесгафта по адресу ул. Декабристов д. 38 и бассейна СК Центр - Плавание по адресу ул. Хлопина д.10. Наблюдение проводилось за пловцами-кролистами высокого класса, членами сборной Санкт-Петербурга и России по плаванию. В ходе педагогического наблюдения были получены данные о технической подготовке в общей системе тренировки пловцов в течение всего цикла подготовки. Изучались средства, методы и характерные особенности технической подготовки, используемые тренерами сборной команды страны и города, определялись методики технического контроля.

### 2.2.3 Проектирование

Целью проектирования являлась разработка научно-обоснованной методики коррекции техники плавания пловцов-кролистов с использованием кинематических и динамических характеристик.

Применение данного метода базировалось на соблюдении дедуктивного метода, учете достижений теории и методики плавания, биомеханических и анатомических знаний, и данных проведенных предварительных теоретических исследований и педагогических наблюдений.

Процесс проектирования состоял из следующих этапов:

- разработка показателей для комплексной оценки кинематических и динамических характеристик техники плавания.
- разработка методики анализа техники плавания с использованием полученных показателей;
- разработка комплексов упражнений для коррекции выявленных

резервов техники плавания у кролистов высокой квалификации;

- разработка оптимального варианта реализации методики в тренировочном процессе;

- практическая реализация содержания методики и проверка ее результативности.

#### 2.2.4 Педагогический эксперимент

Для решения поставленных задач использовались методы формирующего и констатирующего педагогических экспериментов.

В рамках формирующего педагогического эксперимента было проведено поисковое исследование, направленное на разработку количественной оценки поступательного движения пловца, которая определяет уровень взаимодействия двух горизонтальных сил, как правило не равных по мгновенным значениям и противоположно направленных, продвигающей силы и силы гидродинамического сопротивления в цикле плавательных движений. Была разработана и применена методика коррекции техники плавания, в которую вошел специальный комплекс упражнений на воде, подобранный индивидуально для каждого пловца. В эксперименте, который проходил на втором этапе исследований участвовали 14 пловцов-кролистов, членов сборной команды Санкт-Петербурга и НГУ им. П.Ф. Лесгафта по плаванию.

Для проверки эффективности разработанной методики на третьем этапе исследований проводился констатирующий педагогический эксперимент. Эксперимент проводился последовательно. В исследованиях принимали участие 10 пловцов высокого класса, члены сборной Санкт-Петербурга и России, чемпионы России, Европы и Мира, участники Олимпийских игр, мастера спорта, мастера спорта международного класса, заслуженный мастер спорта.



### 2.2.5 Метод сбора и обработки текущей информации

Как уже неоднократно было отмечено выше, к числу специфических особенностей измерений в спорте следует отнести трудность прямых измерений параметров внутренних органов без нарушения целостности организма, а также подвижность объекта измерения и сложность его двигательного поведения в различной среде.

Все вышесказанное в полной мере относится к проблемам метрологического обеспечения научных исследований в плавании. Вследствие этого нами был проведен метрологический анализ применяемой в исследованиях методики компьютерного видеоанализа техники плавания с использованием компьютерной обработки данных программами Dartfish9 и Natatometry™ (*Крылов А.И., Бутов А.А., Вент Дж. Нататометр - прибор для коррекции стиля плавания на основе определения внутрицикловой скорости // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2014. № 7 (113). С. 109–112.*)

Метрологический анализ метода киноциклографии при изучении кинематики движений пловцов, проведенный В.Б. Иссуриным, остается актуальным, по нашему мнению, и в настоящее время. Этот подход был использован при разработке метода регистрации и анализа внутрицикловой скорости на основе компьютерной обработки параметров продвижений пловца, полученных с помощью подводной видеокамеры (*Метрологический анализ метода киноциклографии при изучении кинематики движений пловцов / В.Б. Иссурин, А.Б. Глазков, А.Н. Дементьев, Н.В. Хохловский, А.Б. Проскуряков // Теория и практика физ. культуры. 1977. № 3. С. 18–21.*)

Автор отмечает, что широкое применение фоторегистрации в спортивных исследованиях определяет ряд достоинств использования этого метода, а именно: в автономности объекта исследования; в дистанционности, устраняющей какие-либо возмущения в окружающей среде или структуре движений; возможности синхронного анализа параметров кинематики и взаимного расположения сегментов тела спортсмена; в выделении

составляющих кинематических характеристик по координатным осям.

Вместе с тем необходимо отметить, что используемая в наших исследованиях видеорегистрация техники плавания с фиксированным показателем мгновенной скорости и ускорением тела пловца, позволяет в каждом конкретном кадре видеосъемки определять кинематические характеристики движений пловца и давать оценку их эффективности относительно изменений или колебаний внутрицикловой скорости плавания.

Таким образом, разработанная методика в значительной степени расширяет возможности фоторегистрации и киноциклографии. Все эти очевидные достоинства, как было сказано выше, реализуются при условии четкого выполнения метрологических требований.

Проведенные исследования кинематики поступательного движения пловца предоставляет возможность исследователям проанализировать основные источники ошибок свойственные методу киноциклографии, и сформулировать общие метрологические требования к проведению эксперимента и последующей обработке.

Использование фотографических методов получения последовательных одиночных изображений позволяет вычислять координаты, определяющие положение объекта в плоскости, перпендикулярной оптической оси объектива камеры, т. е. в предметной плоскости.

Соотношения реальных линейных размеров в предметной плоскости и размеров их изображений на снимке характеризуются масштабным коэффициентом  $m$  и выражаются уравнением 9:

$$m = \frac{Y}{fn} = \frac{L}{l}, \quad (\text{уравнение - 9})$$

где  $Y$  - расстояние от объектива до предметной плоскости, мм;  $f$  - сопряженное фокусное расстояние оптической системы, мм;  $n$  - показатель преломления среды (для воды - 1,33);  $L$  - линейный размер тест-объекта в предметной плоскости;  $l$  - размер изображения тест-объекта на снимке.

Предполагается, что предметная плоскость является плоскостью равных масштабных коэффициентов. Нарушение этого условия, происходящее по ряду причин, является источником ошибок, рассматриваемых ниже.

*Ошибки масштабного коэффициента* Источниками возникновения данных ошибок являются: 1-угловые отклонения оптической оси объектива; 2 - изменение расстояния до объекта из-за его приближения или удаления; 3 - геометрические искажения изображения объекта (дисторсия).

Угловые отклонения оси объектива вызывают изменение состояния предметной плоскости, а, следовательно, и величины масштабного коэффициента. При этом направление движения спортсмена не перпендикулярно оптической оси объектива, поэтому значения, 'масштабных коэффициентов на разных 'участках пути различны и не равны значению, принятому для условий отсутствия перекоса. Относительная ошибка масштабного коэффициента может оцениваться расчетом по уравнению 10:

$$\delta m a \leq \frac{\sin a \times \sin 2b}{\cos(a+b) \times \cos(b-a)}, \quad (\text{уравнение } -10)$$

где  $\delta m a$  - относительная ошибка  $m$  при отклонении оптической оси на угол  $a$ ;  $a$  - угол отклонения оптической оси от нормали к плоскости перемещения объекта;  $2b$  - горизонтальный угол поля зрения камеры.

Известно, что относительная ошибка по мере увеличения углового отклонения объектива по горизонтали от нормали к плоскости перемещения объекта съемки нарастает. Приближение или удаление объекта съемки (спортсмена) по оси объектива изменяют параметр  $Y$  уравнения (9). Это вызывает пропорциональные изменения масштабного коэффициента и, следовательно, соответствующую его ошибку.

Ошибки масштабного коэффициента, связанные с угловым отклонением оптической оси объектива и изменением расстояния до

объектива из-за приближения и удаления, корректировались в наших исследованиях с использованием компьютерной программы. При разработке алгоритма коррекции ошибки масштабного коэффициента использовалась формула 10. Необходимо отметить, что при изменении параметров  $m$  и  $b$  надо внести простые изменения в программу.

Вследствие дисторсии изображение объекта в плоскости снимка получается в переменном масштабе. Поскольку показатель преломления в воде больше единицы, подводное фотографирование сопровождается возникновением дополнительной дисторсии. Из-за этого возникает ошибка, соответствующая разности значений масштабного коэффициента в центре кадра и по его краям.

Однако, ошибка, связанная с геометрическим искажением изображения объекта (дисторсия) в наших исследованиях не учитывалась, т.к. разработанная программа фиксирует положение точки (блопа от светящегося фонарика) в каждом кадре видеосъемки. После этого рассчитывается расстояние между точками, скорость перемещение и ускорение (положительное и отрицательное).

На Рисунке 7 представлен пример кадра компьютерного видеоанализа с наложенным графиком внутрицикловой скорости.

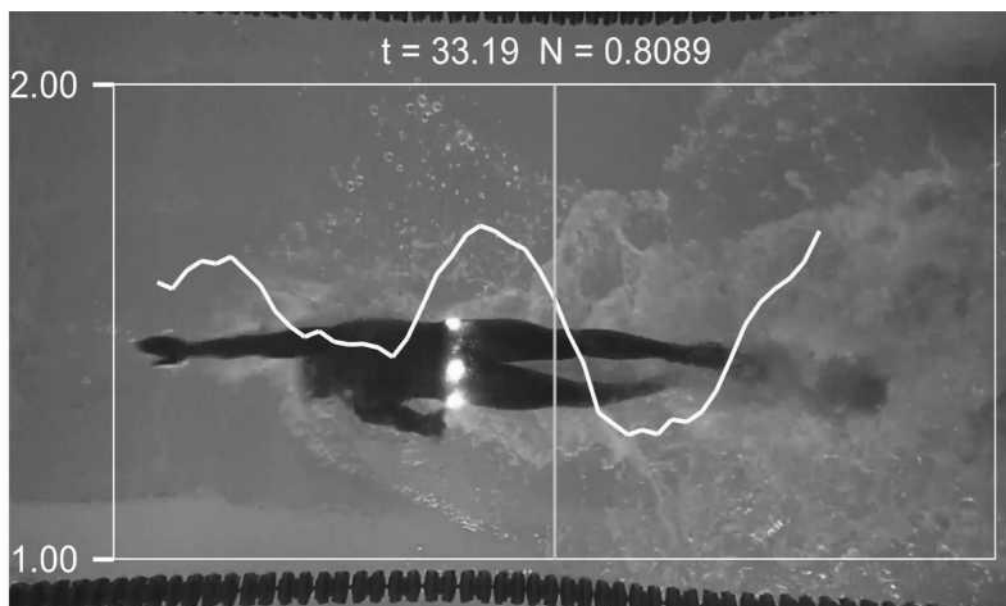


Рисунок 7 – Пример кадра компьютерного видеоанализа техники плавания с наложенным графиком внутрициклового скорости. По оси ординат - время, по оси абсцисс - мгновенная скорость ( $m/c$ ). Вертикальная линия в центре графика указывает точку на графике, которая соответствует данному кадру (Крылов А.И., Виноградов Е.О., 2016).

Оценка характеристик движений точек, отмеченных на бедре пловца, или центра масс его тела, всегда рассматривались как способы оценки кинематики в плавании, однако многие исследователи считают, что наиболее точные измерения получены использованием второго способа.

Однако эти авторы отмечают, что внутрицикловая скорость тазобедренного сустава более точно, чем скорость центра масс тела пловца, характеризует изменение внутрициклового скорости. Это связано с тем, что взаимодействия верхних и нижних конечностей постоянно изменяют положение центра масс, и это приводит к несовпадению пиков и западений графика внутрициклового скорости во времени выполнения гребка (*Comparative study of the response of kinematical variables from the hip and the center of mass in butterfly swimmers / T.M. Barbosa, Santos Silva, F. Sousa, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in Swimming IX / J.C. Chatard (ed.). 2003. P. 93–98*).

Перемещение маркера, размещённого на тазобедренном суставе, не

может представлять такие вариации, поскольку это относительно фиксированный анатомический ориентир. Хотя это предвзятое отношение некоторых групп исследователей, и определение анатомического ориентира для фиксирования кинематических характеристик в плавании в настоящее время является проблемой для будущих исследователей (*Psycharakis S.G., Sanders R.H. Validity of the use of a fixed point for intracycle velocity calculations in swimming // Journal of science and medicine in sport. 2009. № 12. P. 262–526*).

Поскольку при плавании кролем, особенно у пловцов высокого класса, фиксируются значительные вращения корпусом (Т.М. Barbosa, 2003), в наших исследованиях рассчитывались параметры движения двух световых точек, размещенных в районе правого и левого тазобедренного сустава пловца-кролиста. После чего высчитывались средние показатели.

*Ошибки определения линейного размера на снимках.* Эти ошибки возникают вследствие: 1 - ошибки нахождения исходной координаты; 2 - ошибки нахождения точки начала координат на снимках; 3 - ошибки нахождения последующей координаты.

Необходимо отметить, что этот вид ошибок возникает, в основном, при ручном методе обработке материалов. В наших исследованиях такого рода ошибки устраняются качеством обработки данных программами Dartfish 9.

*Ошибки вычислительной обработки.* Итоговая вычислительная обработка допускает использование двух принципиальных подходов. Наиболее простым вариантом расчета скорости и ускорения является метод графического дифференцирования по координатам пути. Поскольку эти координаты получены с некоторой ошибкой, происходит их случайное рассеивание вокруг истинных значений. Соответствие аппроксимации реальному процессу должно достигаться при минимальном интервале дискретности координат и их минимальной относительной ошибке.

В наших исследованиях, так же, как и в исследованиях В.Б. Иссурина, используется другой вариант вычислительной обработки, который заключается в аппроксимации дискретных координат пути непрерывной функцией, проходящей вблизи экспериментальных значений, плавно сглаживая их случайные колебания в диапазоне относительной ошибки приращения пути за межкадровый интервал. Вследствие этого рассчитанные после сглаживания координаты пути более соответствуют истинным, чем экспериментально.

*Ошибки, обусловленные съемочной аппаратурой.* Основным источником ошибок этой группы является низкая точность протяжки ленты. Следствие этого - погрешности отсчета времени по межкадровому интервалу.

В наших исследованиях использовалась цифровая видеокамера OLYMPUS с электронным контролем частоты кадров. Поэтому погрешность по длительности межкадрового временного интервала в нашем случае пренебрежимо мала.

*Поступательная кинематика движения пловца.* Уменьшение ошибок масштабного коэффициента осуществлялось: жестким закреплением съемочной подводной камеры на дне бассейна с тщательным внешним ориентированием.

#### 2.2.6 Анализ и обобщение авторского опыта работы

В период проведения научного исследования были проведены 3 практических исследования по определению и оценки внутрицикловых характеристик техники плавания у ведущих пловцов сборной Санкт-Петербурга по плаванию. Было проанализировано свыше 160 индивидуальных проплывов пловцов с заданными скоростями, определены основные компоненты динамики движений и индивидуальные особенности техники пловцов-кролистов, сформированы динамические фазы поступательного

движения пловца в цикле водных локомоций. При помощи современной системы видеоанализа, регистрации данных и колебаний мгновенной внутрицикловой скорости плавания был разработан базовый комплекс специальных упражнений на воде с широким спектром вариаций по их выполнению в зависимости от индивидуальных ошибок или преимуществ пловца. Пловцам-кролистам объяснялась направленность специальных комплексов упражнений на воде, а также проводился полный информативный разбор каждого проплыва в заданных скоростных режимах при помощи современной регистрации и обработки данных.

#### 2.2.7 Методы математической обработки материалов с их последующей интерпретацией

Обработка результатов исследования осуществлялась с помощью программы SPSS statistics в целях объективного обоснования надежности и достоверности количественных характеристик совокупности полученных данных. Для проверки гипотезы о наличии связи между признаками использовались таблица сопряженности и коэффициент корреляции Спирмена. Значимость коэффициента корреляции Спирмена определялась на 5-процентном уровне ( $p < 0,05$ ), что признается вполне надежным в педагогических исследованиях.



### ГЛАВА 3 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДКИ КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ ПЛАВАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОЙ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

#### 3.1 Оценка колебаний внутрицикловой скорости с использованием коэффициента гидродинамической добротности

Оценка эффективности техники плавания, предполагает наличие реальной информации о кинематических и динамических характеристиках, как соревновательного, так и тренировочного упражнения (*Койгеров С.В., Фохт С.М. Комплексная оценка технического мастерства пловцов высших разрядов // Совершенствование методов и средств физического воспитания и спортивной тренировки. Л., 1979. С. 45–46 ; Гидродинамические характеристики элитных пловцов на различных этапах подготовки / С.В. Колмогоров [и др.] // Теория и практика физ. культуры. 1991. № 12. С. 21–29 ; Модельные характеристики спортивных способов плавания с методикой их совершенствования / Р.Б. Хальянд [и др.]. Таллин, 1986. 98 с.*)

Несмотря на то, что исследователи и педагоги, по мнению А.Б. Кочергина, едины во мнении, что динамика внутрицикловой скорости и ее составляющих есть важнейшая характеристика движения, не существует единого подхода к количественной оценке эффективности техники плавания. По-видимому, это связано с отсутствием интегрального критерия оценки эффективности, который можно использовать в процессе соревнований и тренировочной практике, имеющего физический смысл и позволяющего получить срочную количественную оценку (*Дышко Б.А., Кочергин А.Б., Мамонтов Д.В. Инновационная технология оценки эффективности техники выполнения циклических локомоций (на примере плавания) // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : сб. ст. (материалы III Международ. науч.-технич. конф.) / ред. кол.: И.В. Бельский, В.Е. Васюк, Н.А. Парамонова. Мн., 2014. С. 155–161).*)

В практике подготовки высококвалифицированных пловцов регистрация внутрицикловой скорости перемещения общего центра масс тела спортсмена получила широкое распространение. Динамику внутрицикловой

скорости используют как один из показателей эффективности движений пловца.

В частности, с этой целью было предложено использовать "коэффициент гидродинамической добротности" (КГД) или "гидродинамическую добротность" (*Методика срочного контроля и коррекции техники плавания в соревновательных и тренировочных упражнениях : учеб.-методич. пособие / под ред. А. Кравцова. М. : ТВТ Дивизион, 2010. 88 с.*).

$$K = \frac{V_{\max}^2}{V_{\max}^2 - V_{\min}^2} \quad (\text{Уравнение 11}).$$

где:

$V_{\max}$  м/с - максимальное значение мгновенной скорости

$V_{\min}$  м/с - минимальное значение мгновенной скорости

Исследователи согласны в том, что теоретически более экономичная техника плавания должна приводить к меньшим колебаниям мгновенной скорости и ускорения. Естественно также предположить, что лучшие пловцы используют более экономичную технику. Однако экспериментально зависимость между вариативностью скорости в цикле и скоростью плавания до сих пор четко не установлена, поскольку такие исследования сталкиваются с серьёзными методическими трудностями. Высказываются даже мнения, что соревновательный результат вообще не связан с распределением внутрицикловой скорости, в частности в кроле на груди. До сих пор, однако, этот вопрос рассматривался на основе анализа абсолютных колебаний скорости без соотнесения этой статистики с достигаемой средней скоростью (*Psycharakis S.G., Sanders R.H. Bodyroll in swimming: areview // Journal of sports science. 2010. № 28. P. 229–236*).

На основании вышесказанного, наряду с КГД, мы предлагаем использовать несколько модифицированный коэффициент гидродинамической добротности КГД<sub>m</sub>, который отличается от КГД тем, что

в числителе вместо квадрата мгновенной максимальной скорости использован квадрат средней скорости, за весь цикл  $\bar{V}^2$ :

$$ГДМ_m = \frac{\bar{V}^2}{V_{\max}^2 - V_{\min}^2} \quad (\text{Уравнение 12})$$

где:

$\bar{V}^2$  - м/с - среднее значение мгновенной скорости за цикл.

В отличие от «Коэффициента гидродинамической добротности» (КГД), который широко применялся в исследованиях А.Б. Кочергина, А.Н. Кравцова, А.В. Воронцова, в числителе формулы КГД предлагается вместо  $V_{\max}^2$  использовать  $\bar{V}^2$ , что позволяет сравнивать эффективность техники плавания каждого пловца на различных скоростях. Это было подтверждено в ходе дальнейших экспериментальных исследований.

### 3.2 Разработка динамической структуры двигательного цикла

#### пловцов-кролистов

На основании результатов проведенных исследований, была определена динамическая фазовая структура двигательного цикла пловца-кролиста, позволяющая дать оценку эффективности техники плавания кролем, а также определить специфические различия в технике плавания кролистов-спринтеров и пловцов на длинные дистанции.

В основе современных представлений о продвижении пловца в воде лежат законы биомеханики и гидродинамики плавания (*E. Maglicho, 2003; C. Colwin, 2002 и др.*). Сложные взаимодействия этих сил или ускоряют тело пловца, или тормозят его продвижение вперед. Это обусловлено относительно высокой плотностью воды, когда при увеличении внутрициклового скорости плавания суммарное воздействие всех тормозящих сил на пловца возрастает в квадрате. Следовательно, в отличие от кинематической структуры плавательного цикла, когда мы имеем возможность определять его фазовую

структуру, динамические фазы определить гораздо сложнее, т.к. они не всегда совпадают с кинематическими. Кроме того, пловец может формировать во время одного гребка несколько пиков ускорений. Как показали наши исследования, что совпадает с исследованиями А.В. Аширина (2016), при относительно стабильной кинематической структуре цикла, каждый пловец на различных скоростях может увеличивать количество ускорений или их продолжительность.

Используемый в наших исследованиях комплекс аппаратуры не позволяет определять величины силовых проявлений пловца и сил, воздействующих на его тело во время продвижения в воде. Тем не менее, по величине ускорений, а также по их направленности (ускорение или торможение) можно получить взаимосвязанную оценку техники плавания. С учетом кинематических показателей в момент, когда и происходит изменение направленности действия сил, можно оценить те или иные кинематические характеристики техники плавания.

Экспериментальные исследования по обоснованию высказанного выше предположения проходили в бассейне НГУ им. П.Ф. Лесгафта. В исследованиях принимали участие 10 пловцов мужчин высокой квалификации, члены сборной команды Санкт-Петербурга и НГУ им. Лесгафта по плаванию.

Спортсменам предлагалось выполнить проплывы длиной 25 м с различной скоростью, соответствующей соревновательной скорости проплывания дистанций 100 м, 200 м, и 1500 м кролем на груди. Спортсмены выбирали скорость в соответствии с собственным опытом участия в соревнованиях. Проплывы фиксировались на подводную видеокамеру, а затем по каждому из проплывов вычислялись нижеперечисленные характеристики цикла плавания в данном проплыве с использованием компьютерной программы DartFish и авторской программы Natatometry™.

На подводное видео каждого из проплывов был наложен график мгновенной скорости. На рисунке 9 представлен один из кадров одного из проплывов.

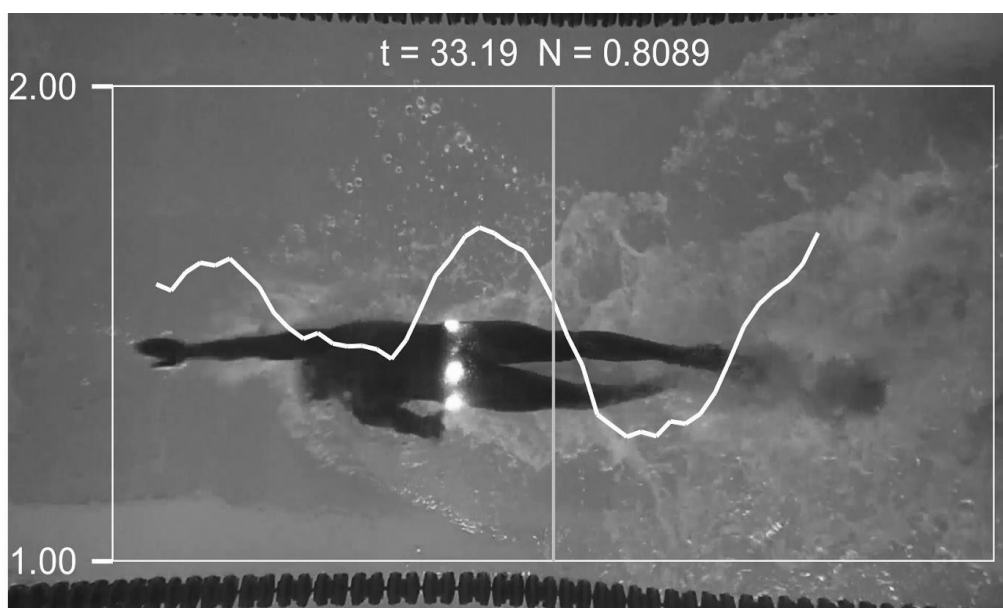


Рисунок 8 – Пример скриншота подводной видео регистрации с наложенным графиком колебаний мгновенных внутрицикловых ускорений.

По оси ординат - время, по оси абсцисс - мгновенная скорость ( $m/c$ ).

Вертикальная линия в центре графика указывает точку на графике, которая соответствует данному кадру.

Используемая программа позволяет выводить на экран компьютера различные внутрицикловые характеристики техники плавания. Вверху данного кадра:  $t$  - средняя скорость в цикле,  $N$  - коэффициент гидродинамической добротности (КГДм).

В процессе оценки техники плавания пловцов с различными скоростями были получены следующие характеристики одного цикла плавания:

$V_{min}$  – минимальное значение мгновенной скорости в цикле;

$V_{max}$  – максимальное значение мгновенной скорости в цикле;

$V$  – среднее значение мгновенной скорости в цикле;

$V_{std}$  – стандартное отклонение среднего значения мгновенной скорости;

$\Delta V$  – разность между  $V_{max}$  и  $V_{min}$ ;

$A_{min}$  – минимальное значение мгновенного ускорения в цикле;

$A_{max}$  – максимальное значение мгновенного ускорения в цикле;

$A_{avg}$  – среднее значение мгновенного ускорения в цикле;

$A_{std}$  – стандартное отклонение распределения мгновенного ускорения в цикле;

$\Delta A$  – разность между  $A_{max}$  и  $A_{min}$ ;

$DS$  – длина одного цикла (шаг);

$PS$  – частота гребков (темп).

КГД - коэффициент гидродинамической добротности

КГД<sub>m</sub> - коэффициент гидродинамической добротности с учетом средней скорости плавания.

$N = VA_{std}$  – коэффициент, связывающий среднюю скорость со стандартным отклонением мгновенных ускорений в цикле (Приложение Г)

На рисунке 9 представлены результаты корреляционного анализа между средней скоростью плавания и изучаемыми характеристиками.

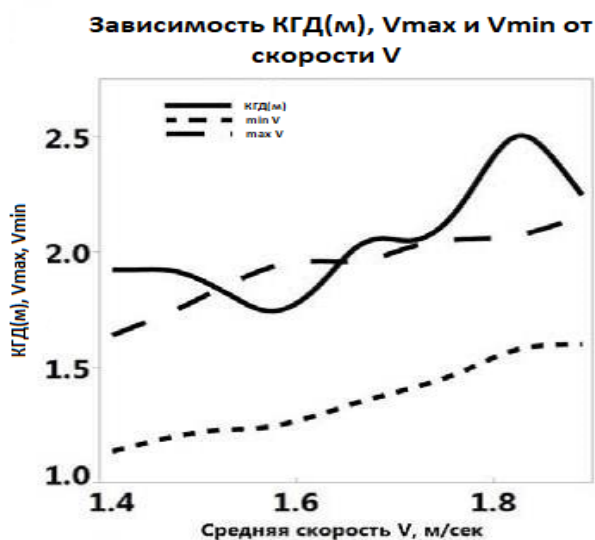


Рисунок 9 – Зависимость между показателем КГД<sub>m</sub>,  $V_{max}$ ,  $V_{min}$  и средней скоростью плавания в цикле

Для удобства анализа данных мы разбили скорости  $V$ , показанные пловцами на три диапазона – средние ( $1.4 \div 1.7$  м/с), субмаксимальные ( $1.7 \div 1.8$  м/с) и высокие (1.8 м/с и выше).

1. В диапазоне дистанционной скорости 1.6 м/с повышение средней скорости в цикле ( $V$ ) достигается за счёт увеличения и максимума ( $V_{max}$ ) и минимума ( $V_{min}$ ) мгновенной скорости. Причём,  $V_{max}$  растёт несколько быстрее, чем  $V_{min}$ , что выражается в плавном увеличении  $\Delta V$ . Показатель  $KГДm$  при этом остается на сравнительно низком уровне.

2. В диапазоне субмаксимальных скоростей (от 1.7 до 1.8 м/с для представленной выборки) установлена смена механизма увеличения средней скорости. В этом диапазоне скоростей увеличение  $V$  достигается за счёт повышения  $V_{min}$ , при сохранении или даже некотором уменьшении значения  $V_{max}$ , что выражается в уменьшении разницы мгновенных скоростей внутри цикла ( $\Delta V$ ). Уменьшение  $\Delta V$  сопровождается увеличением показателя  $KГДm$ . В диапазоне субмаксимальных скоростей пловцы высокой квалификации перестраивают темпо-ритмовые характеристики своей техники, существенно увеличивая её добротность.

3. В диапазоне высоких скоростей (от 1.8 м/с и выше) дальнейшее увеличение  $V$  достигается за счёт увеличения, прежде всего,  $V_{max}$ . Минимум мгновенной скорости  $V_{min}$  при высоких скоростях растёт медленнее, чем  $V_{max}$ , или даже незначительно снижается.

Таким образом значение коэффициента гидродинамической добротности ( $KГДm$ ) у квалифицированных спортсменов повышается соответственно с увеличением скорости плавания в диапазонах средней и выше средней скоростей. Однако в диапазоне субмаксимальных скоростей значение  $KГДm$ , а, следовательно, и эффективность техники плавания, резко возрастает за счет снижения показателей  $\Delta V_{max} - V_{min}$ . Видимо, это обусловлено способностью пловцов такого уровня, изменять темпо-ритмовую структуру гребка, в зависимости от задачи и условий соревновательной

деятельности. На субмаксимальных скоростях (соответствующих соревновательной скорости на дистанции 200 м), спортсмены высокого уровня распределяют усилия таким образом, чтобы избежать повышения мощности гребка.

Необходимо отметить, что повышение эффективности техники или ее «добротности» отражается, как в увеличении показателя КГД<sub>м</sub>, так и в показателе КГД. Но вместе с тем, модернизированный коэффициент гидродинамической добротности (КГД<sub>м</sub>) в большей степени характеризует величину колебаний внутрицикловой скорости, чем КГД. Это отражено на графике, представленного на рисунке 10.

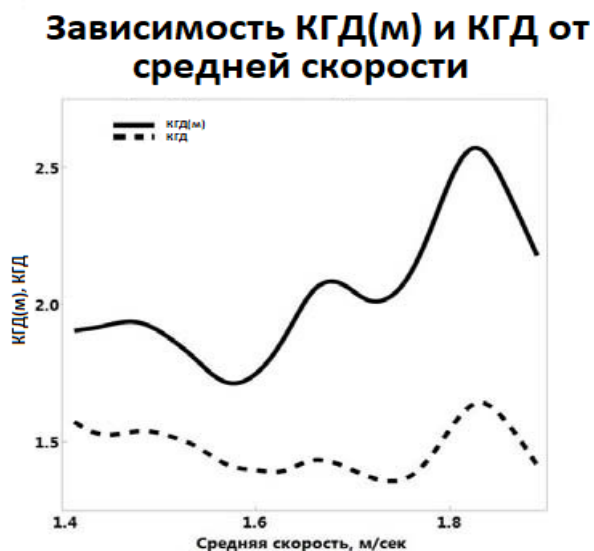


Рисунок 10 – Зависимость КГД(м) и КГД от средней скорости плавания

По результатам проведенных исследований были выделены шесть динамических фаз плавательного цикла. С учетом того, что в кроле руки работают попеременно, гребок каждой руки разделен на три фазы: 1-я фаза - фаза ускорения; 2-я фаза - фаза активного торможения; 3-я фаза - фаза пассивного торможения (скольжения). В исследованиях использовалась оценка гребка каждой рукой, т.к. даже у высококвалифицированных пловцов



отмечалась значительная асимметрия по кинематическим и динамическим показателям. (Рисунки 11,12,13 и 14)

Гребок правой рукой:

1-я фаза - фаза ускорения

2-я фаза - фаза активного торможения

3-я фаза - фаза пассивного торможения (скольжения)

Гребок левой рукой:

4-я фаза - фаза ускорения

5-я фаза - фаза активного торможения

6-я фаза - фаза пассивного торможения (скольжения)

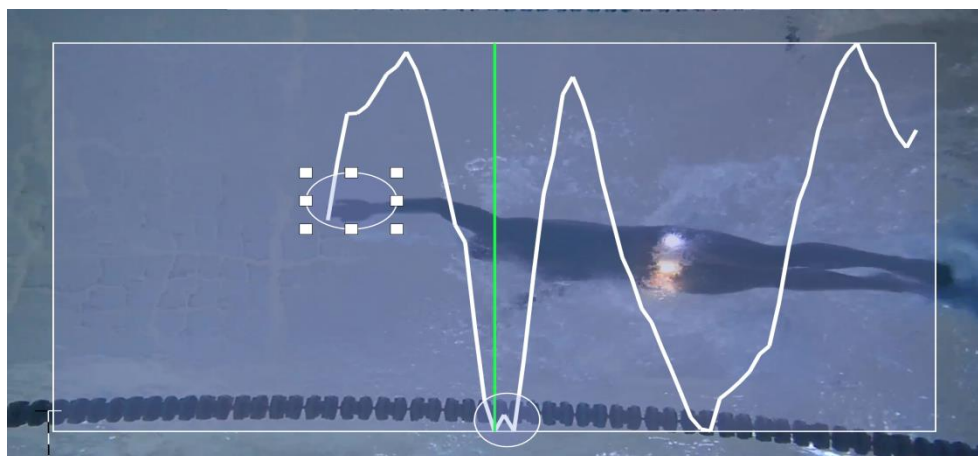


Рисунок 11 – Фаза 1 - рука выполняет захват, торможение сменяется ускорением

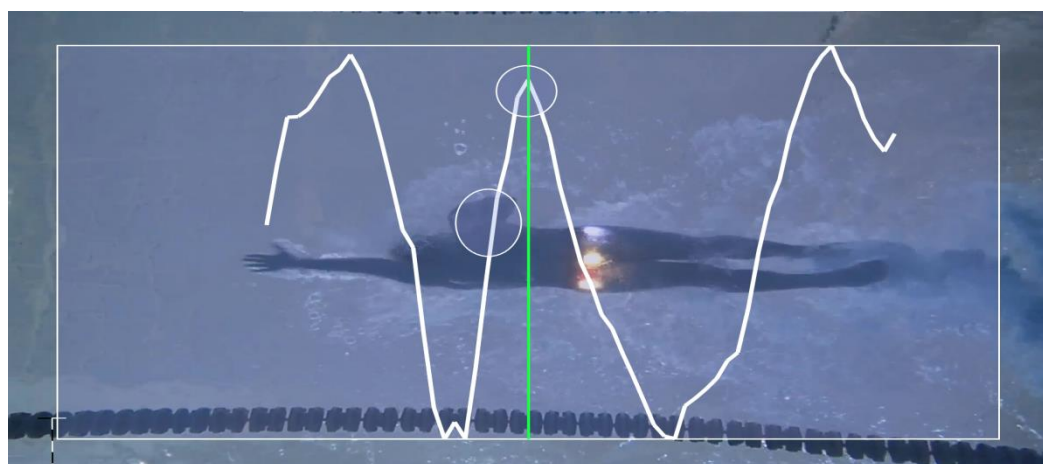


Рисунок 12 – Фаза 2 - рука выполняет гребок, тем не менее ускорение сменяется торможением

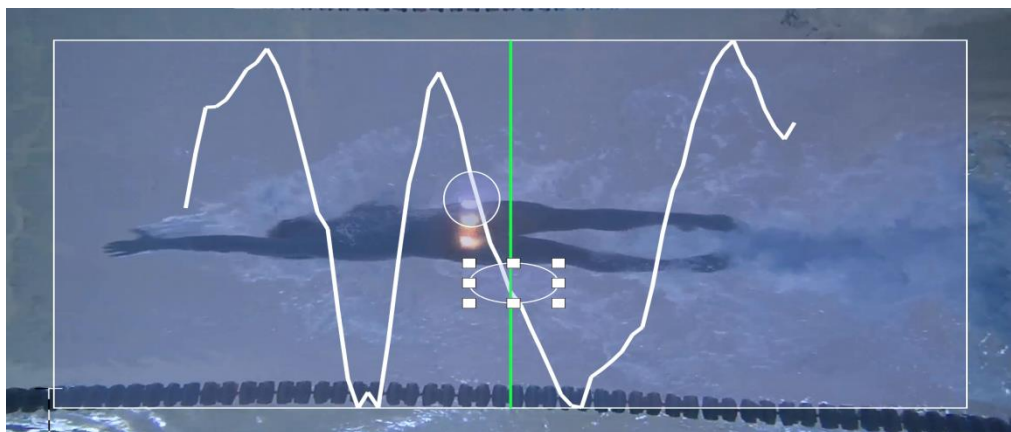


Рисунок 13 – Фаза 3 - Пассивного торможения или скольжения. Фаза начинается, когда гребущая рука выходит из воды; заканчивается, когда фаза торможения сменяется фазой ускорения от гребка противоположной рукой (Рис. 11).

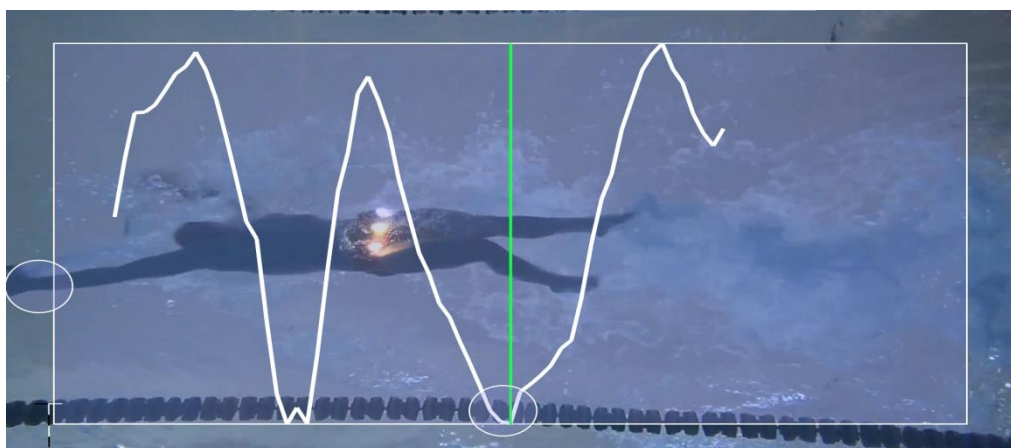


Рисунок 14 – Фаза 4 - соответствует фазе 1, но другой рукой

Результаты видеоанализа графика колебаний внутрицикловой скорости показали, что пловцы высокого уровня способны удерживать оптимальные значения скорости в фазах скольжение и начальных фазах гребка «захват» (пассивное торможение). Но, вместе с тем, у менее квалифицированных пловцов торможение начинается еще при выполнении фазы гребка «отталкивание». Это приводит к резкому снижению скорости, так как в этот момент кисть работает не как гребущая поверхность, а как тормоз. Этот период в динамической структуре гребка определяется как фаза активного торможения, что подтверждает раннее проведенные исследования С.В. Колмогорова (1992) о значении активного сопротивления для энергетической эффективности техники плавания. Естественно, чем по

времени короче фаза активного сопротивления, тем длиннее фаза продвижения (ускорения) в фазе гребка «отталкивание».

Необходимо отметить, что у квалифицированных пловцов, по результатам наших исследований, фаза активного торможения практически отсутствует. Это связано с механизмом образования движущих сил, имеющим различия в отдельных фазах гребка. Так при переходе от средней фазы гребка к заключительной фазе, согласно исследованиям А.И. Погребного (1997), изменяется механизм образования движущих сил от толкательного типа к колебательному или к преимущественному действию подъемной силы "lift" (Э. Маглишко, 2004). Таким образом, можно сделать вывод, что квалифицированные пловцы благодаря определенным техническим навыкам, связанным с правильной траекторией движения кисти в заключительной фазе гребка, а также ориентации кисти под определенным углом атаки, сохраняют поступательное движение в фазе "отталкивание". Все вышесказанное подтверждает предположение о том, что целенаправленное изменение кинематических характеристик положительно влияет на изменение динамических характеристик плавательного цикла кролистов.

### 3.3 Оценка эффективности техники плавания на основе взаимосвязи кинематических и динамических характеристики техники плавания

Одной из самых актуальных и интересных проблем для исследователей в спортивном плавании - это разработка подходов к оценке пропульсивной эффективности или эффективности действия продвигающих сил, генерируемых пловцом (Т.М. Barbosa, V. Lima, E. Mejias, M.J. Costa, D.A. Marinho, N. Garrido, A.J. Silva, J.A. Bragada *A eficiência propulsiva e a propulsão para man no nadado resnão experts Fundação Técnica Científica Desporto Motricidade. 2009. № 5 (4). P. 27–43).*

В одной из работ Т. Барбоза (2011) установил, что энергетика и биомеханика определяют уровень спортивного результата в плавании, а также являются основой обновления современной техники. На основании поисковых

исследований были определены следующие биомеханические и энергетические характеристики эффективности техники плавания: длина гребка ( $SL$ ), частота гребков ( $SF$ ), средняя скорость плавания ( $V$ ), индекс гребка ( $SI$ ), пропульсивная эффективность ( $\varphi_p$ ), критическая скорость ( $CV$ ) и результат ( $performance$ ), которые влияют на результат выступления пловцов (Рисунок 15) (*Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art / T.M. Barbosa, J.A. Bragada, V.M. Reis, D.A. Marinho, C. Carvalho, J.A. Silva // Journal of science and medicine in sports. 2010. № 13. P. 262–269.*)

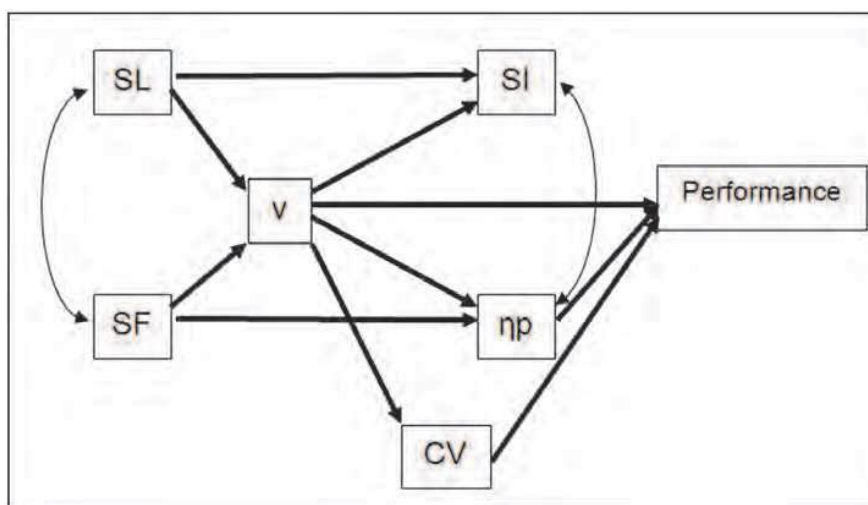


Рисунок 15 – Модель взаимосвязи между биомеханическими, энергетическими характеристиками и результатом в плавании (*Barbosa et al., 2010*), где:  $SL$  - длина гребка;  $SF$  - темп;  $V$  - скорость плавания;  $SI$  - индекс гребка;  $\varphi_p$  - эффективность продвигающей силы;  $CV$  - критическая сила,  $performance$  - спортивный результат (*Т. Барбоза (2011)*)

Расчеты с использованием этой модели подтвердили, что 79% результата в плавании на 200 м вольным стилем зависит от характеристик этих биомеханических и энергетических переменных.

Однако необходимо отметить, что рассматриваемые выше характеристики не всегда обуславливают результативность в плавании. Причем длина гребка ( $SL$ ) и частота гребка ( $SF$ ), а в некоторых исследованиях ( $SR$ ), очень индивидуальный показатель, и их изменения не всегда приводят к повышению эффективности техники плавания.

Для обоснования необходимости комплексного подхода в разработке связанной оценки изменений внутрицикловых характеристик плавательного цикла представлены графики колебаний внутрициклового скорости четырех смоделированных вариантов техники плавания с одинаковыми показателями средней скорости плавательного цикла ( $\bar{V}$ ) (Рисунок 16).



Рисунок 16 – График колебаний внутрициклового скорости (При плавании кролем - цикл плавания состоит из последовательных гребков левой и правой рукой, вследствие этого на графике представлены по две волны увеличения и замедления скорости).

Анализ результатов величины колебаний внутрициклового скорости в представленных моделях техники показал, что при одинаковой средней скорости в цикле, одна группа пловцов может достигать высокой результативности за счет длины цикла (графики 1 и 2), когда другие способны удерживать скорость за счет частоты гребков (графики 3 и 4).

Однако для вариантов техники плавания 1 и 3 КГДм будет одинаковый, т.к.  $V_{ср}$  и  $V_{max}$  и  $V_{min}$  у этих пловцов тоже равны, несмотря на разницу в величинах темпа и шага, тоже одинаковые. Соответственно, так же, как и у пловцов 2 и 4. Тем не менее, при этом у всех четырех кролистов показатели суммы абсолютных значений ускорений и замедлений в цикле ( $|a|$ ) различны

относительно разницы величин колебаний внутрицикловой скорости. Становится очевидным, что у пловца № 2 динамическая эффективность техники плавания значительно выше, чем у пловца № 1, а у пловца № 4 динамическая эффективность техники также выше, чем у пловца № 3, по причине сравнения показателей  $/a/$ . Вместе с тем, выше сказанное совсем не означает, что у пловца № 2 техника по динамическим характеристикам эффективнее, чем у пловца № 4. Каждый квалифицированный пловец в процессе многолетней подготовки формирует в соответствии с морфофункциональными и психологическими особенностями своего организма индивидуальные кинематические и динамические характеристики техники плавания. Это обуславливает индивидуальный подход в оценке изменений тех или иных характеристик с использованием различных показателей.

В современной практике контроля технической подготовленности пловцов широко используется, так называемый "индекс гребка -  $SI$ ", где  $SI = SL \times V$ , где  $SL$  - расстояние, преодолеваемое пловцом за один цикл,  $V$  - средняя скорость плавания в цикле (*Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G. de Groot, H.H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // Journal of biomechanics. 1988. № 21. P. 435–438*).

Однако при рассмотрении графиков смоделированной техники плавания пловцов № 1 и № 2 можно установить (рисунок 2), что у этих пловцов индекс гребка ( $SI$ ) одинаковый, т.к. показатели средней скорости плавания в цикле и расстояние, преодолеваемое за один цикл (шаг) также равны. Не равнозначны в этих моделях техники только величины колебания скорости в цикле, т.е. ускорения и замедления, которые и характеризуют направленность и степень взаимодействия разнонаправленных сил продвижения, генерируемых пловцами, и сил сопротивления водной среды.

На основании вышесказанного, в ходе наших исследований был разработан и использован Индекс динамической эффективности техники плавания ( $ИДЭ$ ) или *Indictsof Dynamic Efficiency (IDE)*, который определяют

уровень взаимодействия двух горизонтальных сил, как правило, не равных по мгновенным значениям и противоположно направленных, продвигающей силы и силы гидродинамического сопротивления в цикле плавательных движений относительно *Индекса гребка (SI)* (уравнение 13):

$$IDE = \frac{SI}{|a|^2} \times 1000 \quad (\text{Уравнение - 13}),$$

где *SI* - индекс гребка *|a|* - сумма абсолютных значений мгновенных ускорений, в течение одного цикла плавания, определенных при помощи системы *Natatometry*.

Экспериментальное обоснование эффективности использования разработанных показателей для коррекции техники плавания представлены в последующей главе диссертационного исследования.

### 3.4 Заключение по третьей главе

Известно, что техническое мастерство спортсменов характеризуется стабильностью, вариативностью, экономичностью и эффективностью. Однако эффективность, как интегральный показатель этих характеристик, по мнению Ю.В. Верхошанского, говорит о том, на сколько полно спортсмен реализует свои двигательные способности (*Верхошанский Ю.В. Программирование и организация тренировочного процесса. М. : Физкультура и спорт, 1985. 176 с.*).

С.М. Гордон также отмечает, что техническая подготовленность спортсмена характеризует степень реализации освоения им последовательности системы движений в соревновательном упражнении, способствующая достижению спортивного результата (*Гордон С.М. Техника спортивного плавания. М. : Физкультура и спорт, 1968. 199 с.*).

Таким образом, говоря о компонентах технического мастерства пловцов нужно дифференцировать понятия «экономичность техники плавания» и «эффективность техники плавания». Согласно определению В.Н. Платонова (2004), экономичность техники характеризуется рациональным использованием энергии при выполнении приемов и действий,

целесообразным использованием времени и пространства. При прочих равных условиях лучшим является тот вариант двигательных действий, который сопровождается минимальными энерготратами, наименьшим напряжением психических возможностей спортсмена.

Эффективность же техники как интегральный показатель тесно связан с технической подготовленностью, которую, по мнению В.Н. Платонова, нельзя рассматривать изолированно, а следует представлять, как составляющую единого целого, в котором технические решения тесно взаимосвязаны с физическими, психическими, тактическими возможностями спортсмена, а также конкретными условиями внешней среды, в которой выполняется спортивное действие (Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения. Киев : Олимп. лит., 2004. С. 312–315).

С учетом выше сказанного, по результатам теоретических и экспериментальных исследований критериев и показателей оценки эффективности плавания кролистов высокой квалификации можно сделать следующие заключение:

1. Эффективность техники плавания, как и подготовленность в целом имеет динамику изменений на протяжении всего цикла подготовки, поэтому направленность этапов подготовки необходимо учитывать использование разработанных показателей.

2. В связи с отличием характеристик подготовленности пловцов, выступающих на различных дистанциях, результаты экспериментальных исследований по изучению изменений колебаний внутрицикловой скорости показали, что наиболее целесообразно использовать Коэффициент гидродинамической добротности (КГДм) для оценки эффективности техники при плавании на средних и субмаксимальных скоростях.

3. По результатам проведенных исследований для оценки эффективности техники плавания было предложено использовать «Индекс динамической эффективности», который характеризует изменения



направленности действия продвигающих сил и сил сопротивления, связанных в свою очередь с изменениями кинематических характеристик плавательного цикла.

Экспериментальное обоснование эффективности использования разработанных показателей для коррекции техники плавания представлены в последующей главе диссертационного исследования.

## ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОРРЕКЦИИ ТЕХНИКИ ПЛАВАНИЯ КРОЛИСТОВ ВЫСКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННОЙ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВАТЕЛЬНОГО ЦИКЛА

4.1 Цель, задачи и содержание методики коррекции техники плавания кролем на основе связанной оценки биомеханических характеристик плавательного цикла.

Основная цель разработки методики - это формирование у тренеров и спортсменов определенных знаний и навыков использования современных средств контроля и управления технической подготовкой пловцов.

В процессе адаптации методики к условиям тренировочного процесса необходимо решить следующие задачи:

- ознакомить спортсменов и тренеров с научно-теоретическими аспектами, на основе которых была разработана методика;
- в процессе проведения исследований сформировать у тренеров навыки обращения с техническими компонентами, используемыми в процессе реализации программы;
- провести ряд теоретических и практических занятий, которые позволят усвоить алгоритмы работы с программным обеспечением;
- проводить самостоятельный анализ данных, полученных в ходе оценки техники плавания;
- во время проведения экспериментальных исследований привлекать тренеров и спортсменов для обсуждения результатов исследований и определения резервов техники плавания;
- активно взаимодействовать со всеми участниками исследований в разработке комплексов упражнений по коррекции техники.

Методика коррекции техники плавания реализуется в три этапа, представленных на Рисунке 17.



Рисунок 17 – Структура методики коррекции плавания, разработанная в процессе исследований

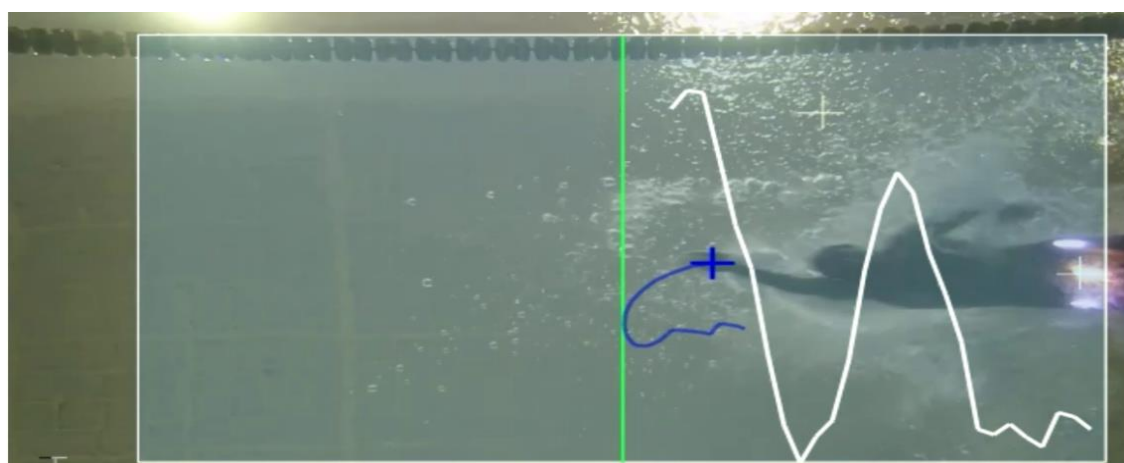
На первом этапе проводится оценка эффективности техники с использованием показателей "Коэффициент гидродинамической добротности (m)" и "Индекса динамической эффективности (ИДЭ)", а также определяются резервы техники плавания.

В наших исследованиях мы считали более корректным использовать термин «резервы техники плавания», чем «технические ошибки» или «ошибки в технике плавания» применительно к пловцам высокой квалификации.

На первом этапе реализации методики проводится оценка техники плавания. По результатам видео регистрации, процедура, которой представлена во второй главе, определяются "Коэффициент гидродинамической добротности (m)" и "Индекса динамической эффективности (ИДЭ)", а также на основании видеозаписи изучается характер колебаний внутрицикловой скорости, и устанавливаются причины ее изменений.

Как правило, пловцы высокого уровня подготовленности, достаточно эффективно используют среднюю фазу гребка, а в начальной и завершающей

фазах пловец не создает движущих сил, поэтому рекомендовалось вкладывать и вынимать кисть таким образом, чтобы она находилась в обтекаемом положении. В настоящее время, используя результаты экспериментальных исследований, можно утверждать, что для получения максимальных внешних сил кисть на протяжении всего гребка, то есть во всех фазах, должна двигаться под определенными углами атаки (*Погребной А.И. Научно-теоретические основы начального обучения плаванию в школьном возрасте : дис... д-ра пед. наук. Краснодар, 1997. С. 276–296*).



Рисунк 18 – Кадр из видеозаписи проплыва кролиста (мс), совмещенной с графиком внутрицикловой скорости

На представленном кадре пловец выполняет вход правой руки в воду, в тот момент, когда гребущая левая рука выполняет фазу отталкивания.

После достигнутого пика скорости определяется резкое замедление, связанное с неэффективным выполнением фазы захвата, и только при переходе в среднюю часть гребка отмечается вновь ускорение. Видимо, поиск правильной траектории движения и угла атаки позволит пловцу создавать опору на более ранней стадии. Этот так называемый «подхват скорости» в значительной степени снизит падение внутрицикловой скорости.

Подобный анализ структуры гребка позволяет не только выявить траекторию движения кисти рук в подводной части, но и сопоставить

кинематику структуры гребка с развиваемыми внутрицикловыми ускорениями относительно движения, как правой, так и левой руки. Поэтому, в основном, для формирования у пловца способности использовать все фазы гребка для максимального продвижения необходима коррекция техники плавания, связанная с изменением кинематических характеристик начальной фазы гребка «захват» и заключительной фазы «отталкивание». В большинстве случаев этому способствует коррекция траектории движения кисти и изменения ее положения относительно направления потока или угла атаки.

Таким образом, формирование у пловца способности создавать продвигающие силы во всех фазах гребка является, безусловно, резервом роста его технического мастерства и спортивного результата в целом.

На втором этапе реализации методики, на основе анализа полученных фазовых динамических характеристик плавательного цикла и индивидуальных биомеханических характеристик гребка, подбирался специальный комплекс упражнений на воде, направленный на совершенствование выявленных по результатам первого этапа резервов техники плавания.

При выполнении специальных корректирующих упражнений пловцам объяснялась направленность упражнений и основные результаты, которые необходимо получить после их выполнения.

- Плавание, направленное на создание чувства опоры в каждой фазе гребка: выполнение проплывания прямыми руками, не теряя "чувства опоры" на протяжении всего гребка; выполнения проплывания с *S-образной* структурой с увеличением усилия к концу гребка.

- Плавание, направленное на создание "чувства воды" из подготовки синхронисток: выполнение проплываний 400м, 2х300м, 500м с выполнением винтовых движений лежа на спине в вариациях: а) винт руками под себя по направлению движения вперед ногами; б) винт кистями рук под тазом по

направлению движения головой вперед; в) винт руками "8-ка" за головой по направлению движения ногами вперед.

- Плавание, направленное на полное использование всей длины гребка: волнение проплываний 600м, 8х50м, 2х300м с отведением двумя руками в сочетании с работой ногами кроль в вариациях: а) в сторону б) под себя.

- Плавание, направленное на чувство фазы "захвата": выполнение проплываний 600м, 4х200м, 8х50м с поочередным отведением рук в положении на боку с движением кисти и предплечья в стороны с последующим резким выполнением гребка кролем с усилием на захват и удержание скорости до фазы "отталкивания".

- Плавание, направленное на создание чувства контроля усилий во всей длине гребковых движений: выполнение проплываний 8х50м, 12х25м кролем на груди с поднятой головой. Основные задачи: удержание высокого положения корпуса при оптимальном переходе рук; чувства усилия гребковых движений в каждой фазе.

- Плавание, направленное на скорость выполнения гребка, без потери мощности: проплывание 400м, 4х100м, 2х200м руками брассом с сочетанием с ногами кроль в вариациях: а) с поднятой головой и максимальным подъёмом; б) с опущенной головой и максимальным подъёмом; в) с поднятой головой и частыми движениями рук; г) с опущенной головой и частыми движениями рук.

- Дистанционное плавание, направленное на концентрацию в фазе "захвата" и оптимальный переход в фазу "отталкивания": 4х200м, 800м кролем на груди с вариацией движения рук: а) S-образной; б) с высоким положением локтя; в) прямыми руками.

- Дистанционное плавание, направленное на снижение количества гребков за отрезки: проплывание 2х300м, 2х400м, 8х100м кролем на груди с вариациями изменением количества гребков: а) минус 1 гребок за каждый

бассейн; б) минус 2 гребка за каждый бассейн; в) комбинированное плавание минус 1 и минус 2 гребка за бассейн.

- Интегральное плавание, направленное на повышение усилия в фазах гребка и создания дополнительных "пиков" скорости: проплывание 600м, 400м, 8x75м комплекса "упражнение-координация". Пловец выполнял заданное упражнение из подобранного комплекса с переходом на координации. Основные задачи: Перенос отработанных элементов техники гребка на координацию при слитном плавании.

Вместе с тем на основе анализа графика колебаний внутрицикловой скорости, совмещенного с видеорегистрацией, были определены 16 базовых упражнений, которые вошли в специальный комплекс:

1. Проплывание прямыми руками с акцентом на захват и переходов в фазу "отталкивания"
2. Отведение руками с максимальной скоростью по направлению движения всторну-вниз
3. Винт руками стилем "брасс" в вариациях: а) с поднятой головой б) опущенной головой и с акцентом на максимальный захват руками вначале гребка
4. Рывок двумя руками по направлению движения рук вниз-назад в движения на груди и сочетании ноги кроль
5. Отведение кистями рук на боку и переход в гребок, акцентируя внимание на чувство опоры ладонью во время отведения и перенос усилия в фазу "отталкивания"
6. Плавание с поднятой головой в вариациях: а) в кулаках б) с выпрямленной ладонью в) одна рука в кулаке, другая рука с выпрямленной ладонью

7. Плавание вперед ногами на спине в вариациях: а) винт руками под себя б) винт кистями рук под тазом, по направлению движения головой вперед в) винт кистями и предплечьем "8-ка" за головой с акцентом на чувство опоры

8. Поочередное плавание правой и левой рукой с опорой на подвижный предмет в вариациях: а) поочередное выполнение гребка при одной руке в положении сверху на доске б) поочередное выполнение гребка при одной руке в положении сверху на колобашке в) поочередное выполнение гребка при одной руки сверху над водой

9. Поочередное плавание на руках: правой и левой рукой с предметом в ногах в вариациях: а) колобашка между голеностопом б) колобашка между колен в) колобашка между бёдер в) с резинкой между стоп г) с резинкой между колен

10. Поочередное плавание правой и левой рукой на удержание лопатки во время подводной части гребка

11. Плавание на уменьшение количества циклов в вариациях: а) в кулаках б) с выпрямленной ладонью

12. Плавание одной рукой с предметом в ногах в вариациях: а) гребок прямой рукой б) S-образной гребок в) гребок с отведением в сторону в фазе "отталкивания"

13. Плавание кролем в координации с поворотом корпуса с последующим выполнением скольжения на боку

14. Поочередное плавание с переворотом корпуса на спину в конечной фазе отталкивания в вариациях: а) с гребущей правой руки по направлению движения поворота влево б) с гребущей левой руки по направлению движения поворота вправо

15. Координационное плавание в сочетаниях: а) ноги "дельфин" и руки "кроль" б) руки "дельфин" и ноги "кроль" в) ноги "брасс" и руки "кроль"



16. Координационное плавание на смену движений в вариациях: а) 4 цикла движений прямой рукой + 4 цикла движений с S-образной структурой б) 4 гребка с поднятой головой + 4 гребка с опущенной головой в) 3 цикла движений на максимально длинный гребок + 3 цикла движений на максимально скоростной гребок

Базовый комплекс упражнений в воде с различными вариантами выполнения и дозировкой представлены в Приложении В.

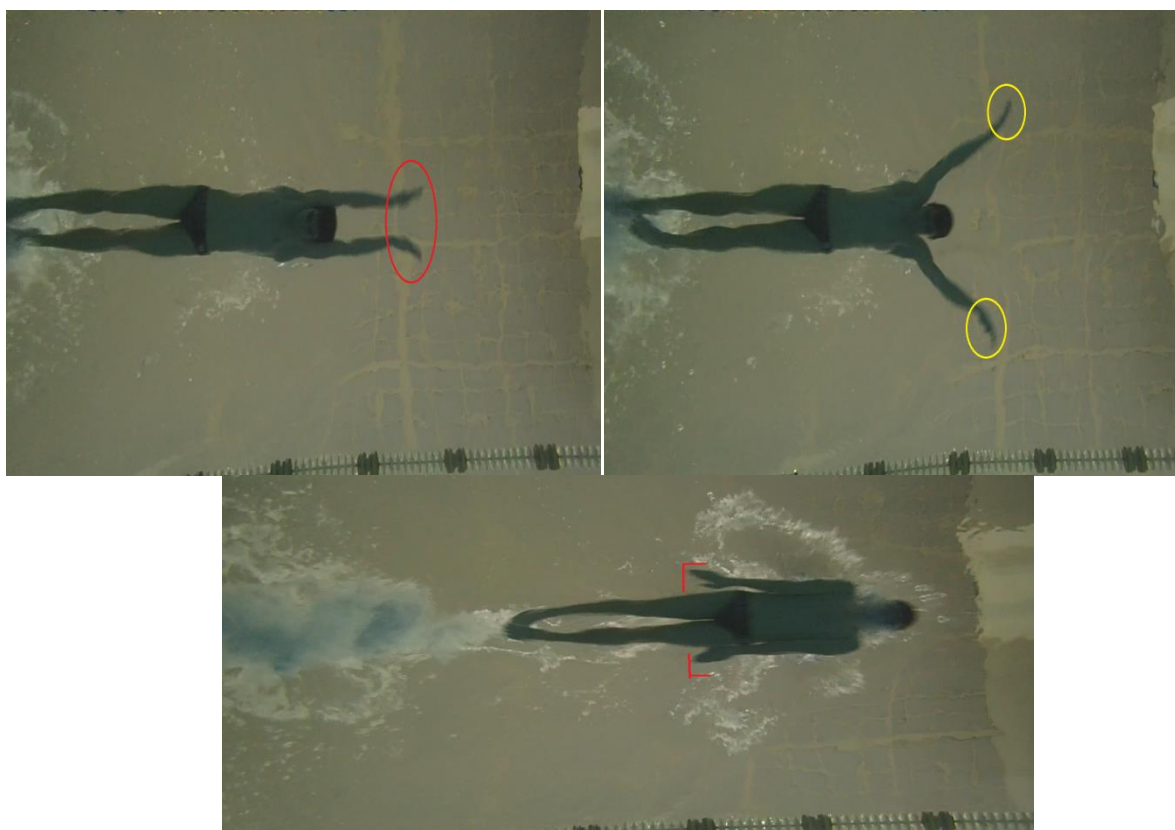


Рисунок 19 – Упражнение из комплекса: отведение руками в сторону с максимальной скоростью по направлению движения в сторону - вниз

Данное упражнение направлено на развитие усилий в конце гребка в фазе отталкивания. Пловцы, выполняя это упражнение, в первую очередь акцентируют внимание на захват воды кистями рук в начале гребка, повышая тем самым квадрат площади опоры. Затем выполняя S - образную структуру в средней части гребка идет увеличение показателей продвигающей силы. При правильном выполнении S - образной структуры, вся энергия и сила гребка

переходит в фазу окончания без повышения размаха мгновенных ускорений в цикле.



Рисунок 20 – Упражнение из комплекса: Отведение кистями рук на боку и переход в гребок

Данное упражнение направлено на развитие захвата подводной части гребка. Выполняя это упражнение, пловцы вовлекают в гребок мышцы спины для повышения силы гребка и увеличения площади опоры, вследствие чего растет и подъемная сила. Один из важнейших акцентов этого упражнения лежит на движении кистями рук во время отведения, с помощью которых пловец цепляется за воду и начинает гребок рукой без потери скорости и удерживает ее на протяжении всей части гребка.

Обязательным требованием к выполнению данного упражнения является хорошая работа ног, благодаря которой пловец увеличивает скорость движения корпуса вперед. Скорость движения ног должна быть достаточной в каждой фазе подводной части гребка, чтобы корпус находился в высоком положении над водой.

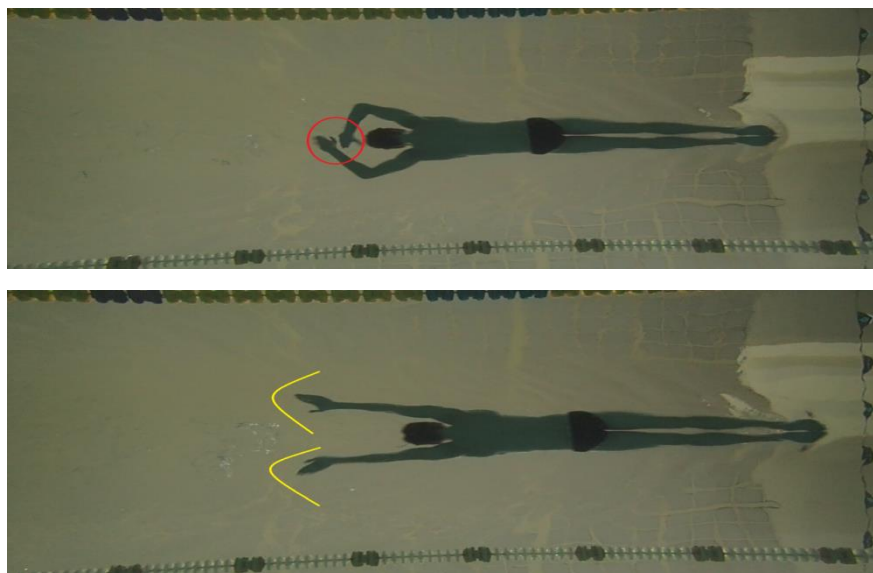


Рисунок 21 – Упражнение из комплекса: Проплывание вперед ногами на спине с выполнением винта кистями и предплечьем "8 - ка" за головой с акцентом на чувство опоры

Данное упражнение направлено на развитие чувства опоры и развития усилий в конце гребка за счет движения кисти. Пловцы, выполняя это упражнения, акцентируют внимание на эффективности каждого отталкивания и правильной постановки рук в начальной фазе от которого зависит расстояние, преодолеваемое пловцом за одно усилие. Движение кистями рук имеют вариации по выполнению:

1. Одновременное движение от себя - до полного выпрямление рук.
2. Поочередное сгибание - разгибание в локтевом суставе.
3. Одновременной волнообразное движение кистей рук.

Обязательным условием выполнения данного упражнения является высокое положение ног во время передвижения вперед. Большая часть тела должна лежать над водой, а лицо должно быть полностью сухим. Стопы натянуты вперед для того чтобы понять большую часть ног на поверхность воды. Выполняя упражнение таким образом, нагрузка полностью ложится на движения рук, тем сам развивая чувство воды и опоры кисти о воду.

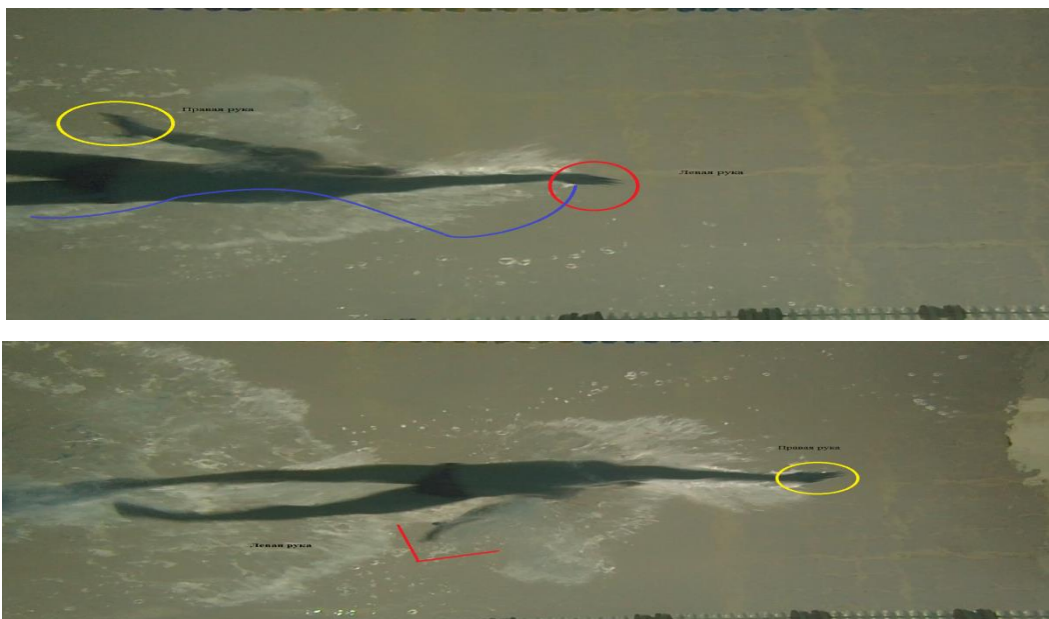


Рисунок 22 – Упражнение из комплекса: Проплывание кролем на груди с поднятой головой с акцентом на захват и удержанием высокого положения с оптимальным переходом в фазу "отталкивания"

Данное упражнение направленно на удержание высокого положения корпуса пловца и концентрацией распределения усилий по всей длины гребка от фазы "захвата" до фазы "отталкивания". Выполнение этого упражнения позволяет пловцу концентрироваться на работе рук в подводной части, обеспечивая оптимальное и эффективное проплывание вперед за счет распределения усилий. Также нужно отметить влияние работы ног для высокого положения над водой.

Качество выполнения данного упражнения зависит от оптимального перехода гребущей руки на противоположную таким образом, чтобы большая часть корпуса пловца находилась в высоком положении. В момент перехода рук нужно смотреть только вперед, чтобы обеспечить гладкое прохождение без затраты лишней энергии. Отрабатывая на воде данное упражнение можно способствовать чувству опыты и захвата воды в самом начале гребка, а также развивать это чувство, направляя и удерживая дополнительное усилие по всей подводной части.

#### 4.2 Исследования эффективности методики коррекции техники плавания на основе оценки кинематических и динамических характеристик плавательного цикла

Исследования проходили в закрытом 25-ти метровом бассейне НГУ им. П.Ф. Лесгафта. В эксперименте было предложено участвовать 10-ти мужчинам-кролистам высокой квалификации, но различной дистанционной специализации. Спортсмены входили в состав сборной команды страны и Санкт-Петербурга. Возраст испытуемых варьировался от 19 до 26 лет, рост пловцов от 178 до 189см, вес спортсменов от 73 до 81 кг. Перед началом исследования со спортсменами и тренерами была проведена беседа, в процессе которой им были сообщены цели, задачи и технология исследования, получено их согласие.

Как было представлено выше, экспериментальные исследования проходили в три этапа.

На первом этапе определялись резервы техники пловцов-кролистов, участвующих в исследовании.

Видеокамеры располагались на дне бассейна на глубине 5,5 м и у бортика бассейна на глубине 0,5 м для видеосъемки в двух проекциях.

Пловцы проплывали 25-ти метровые отрезки кролем на груди на максимальной скорости и на скорости дистанций 200 м и 1500 м, которые они подбирали самостоятельно относительно своего соревновательного опыта. Всего было проведено 98 проплывов. Проплывы пловцов фиксировались на подводные видеокамеры, а затем по их результатам вычислялись индивидуальные кинематические и динамические характеристики плавательного цикла с использованием компьютерной программы *DartFish9* и авторской программы *Natatometry*<sup>TM</sup> (А.И. Крылов, 2014).

На спортсменов надевался специальный пояс с тремя светящимися элементами. В связи с большими вращательными движениями корпуса при плавании кролем, программа фиксировала мгновенную скорость по трем

точкам, а потом высчитывала среднюю и строила кривую колебания внутрицикловой скорости.

На основании полученных данных совместно с тренерами для каждого спортсмена индивидуально подбирался комплекс упражнений, направленный на коррекцию техники плавания.

После тренировочных занятий, в содержание которых включались комплексы упражнений, были проведены повторные проплывы и получены данные для анализа результатов коррекции техники.

В таблице 3 приведены изменения внутрицикловых показателей и динамической эффективности (*ИДЭ*) участников исследований при плавании с максимальной скоростью.

Таблица - 2 Изменения внутрицикловых показателей и индекса динамической эффективности (ИДЭ) участников исследований при плавании с максимальной скоростью

№ п/п	Испытуемые	Спорт. звания	Этапы исследования	Показатели			
				Сред. скор (м/с)	S (Шаг) м	Сумма ускор.  a  (м/с <sup>2</sup> )	ИДЭ
1	П.А.	ЗМС	До	1.81	1.89	28.01	122.13
			После	1.95	1.90	22.25	166.51
			Изменения (%)	7.7	0.5	- 7.2	36.3
2	П.А.	МСМК	До	1.67	1.97	27.12	121.26
			После	1.65	1.91	25.77	122.29
			Изменения (%)	- 1.2	- 3.1	-5.2	0.9
3	И.Г.	МС	До	1.85	1.99	22.18	165.98
			После	1.85	1.95	22.40	161.04
			Изменения (%)	0	-2.0	0.9	- 3.1
4	К.А.	МС	До	1.90	1.71	33.18	97.92
			После	1.89	1.86	27.25	129
			Изменения (%)	-0.5	8.7	- 21.7	32.2
5	Ц.Д.	МС	До	1.84	1.82	29.77	112.48
			После	1.84	1.89	28.91	120.29
			Изменения (%)	0	3.8	- 2.9	6.9
6	П.А.	МС	До	1.83	1.83	27.16	115.89
			После	1.84	1.97	27.78	130.48
			Изменения (%)	0.5	7.6	2.3	12.5
7	Л.Д.	МС	До	1.83	1.84	23.54	143.04
			После	1.80	1.82	24.09	135.99
			Изменения (%)	- 1.6	-1.1	2.3	10.5.
8	С.Д.	МС	До	1.73	1.85	26.95	118.75
			После	1.73	1.93	28.05	117.15
			Изменения (%)	0	4.3	4.0	-1.3
9	Ф.Л.	МС	До	1.56	1.67	20.48	127.20
			После	1.60	1.93	18.49	167.46
			Изменения (%)	2.5	15.5	-10.7	31.4
10	Д.Н.	МС	До	1.58	1.59	16.64	150.97
			После	1.66	1.70	17.20	164.06
			Изменения (%)	5.0	6.9	4.8	8.6

Таблица - 3 Изменения внутрицикловых показателей и индекса динамической эффективности (*ИДЭ*) участников исследований при плавании с скоростью дистанции 1500 м

№ п/п	Испытуемые	Спорт. звания	Этапы исследования	Показатели			
				Сред. скор (м/с)	S (Шаг), м	Сумма ускорений  a  (м/с <sup>2</sup> )	<i>ИДЭ</i>
1	П.А.	ЗМС	До	1.74	2.88	35.90	139.58
			После	1.72	3.07	31.47	167.79
			Изменения (%)	-1.1	6.6	- 13.2	20.2
2	П.А.	МСМК	До	1.68	2.69	29.49	153.24
			После	1.54	2.75	25.91	163.45
			Изменения (%)	-9.0	2.2	-13.8	6.6
3	И.Г.	МС	До	1.67	3.42	49.20	116.08
			После	1.69	3.33	41.55	135.44
			Изменения (%)	1.2	2.7	-18.4	16.6
4	К.А.	МС	До	1.68	3.23	62	88.06
			После	1.65	3.28	55.63	111.4
			Изменения (%)	- 1.8	1.5	- 11.4	26.5
5	Ц.Д.	МС	До	1.50	3.31	51.53	96.35
			После	1.60	2.43	29.71	130.86
			Изменения (%)	6.6	-36.2	- 73.4	35.8
6	П.А.	МС	До	1.61	2.28	41.14	89.22
			После	1.59	2.30	37.22	98.30
			Изменения (%)	-1.2	14.0	-10.53	10.17
7	Л.Д.	МС	До	1.62	2.55	30.03	137.56
			После	1.59	2.60	24.90	166.02
			Изменения (%)	-1.8	1.9	-20.7	20.1
8	С.Д.	МС	До	1.48	2.52	50.13	74.39
			После	1.28	2.79	34.72	102.85
			Изменения (%)	-15.6	10.7	-44.3	38.2
9	Ф.Л.	МС	До	1.24	1.91	21.17	111.87
			После	1.40	2.72	30.50	124.85
			Изменения (%)	12.9	42.4	44.07	11.6
10	Д.Н.	МС	До	1.58	3.03	53.74	89.08
			После	1.62	3.11	50.03	100.7
			Изменения (%)	2.5	2.6	-7.4	13.0



Таблица - 4 Изменения внутрицикловых показателей и индекса динамической эффективности (*ИДЭ*) участников исследований при плавании с скоростью дистанции 200 м

№ п/п	Испытуемые	Спорт. звания	Этапы исследования	Показатели			
				Сред. скор (м/с)	S (Шаг), м	Сумма ускорений  a  (м/с <sup>2</sup> )	<i>ИДЭ</i>
1	П.А.	ЗМС	До	1.79	2.28	35.9	113.68
			После	1.80	2.30	29.2	141.07
			Изменения (%)	0.55	0.8	- 22.9	24.7
2	П.А.	МСМК	До	1.78	2.09	39.7	93.79
			После	1.81	2.31	34.5	121.19
			Изменения (%)	1.6	10.5	- 15.1	29.2
3	И.Г.	МС	До	1.76	2.31	39.7	102.41
			После	1.75	2.23	31.7	123.10
			Изменения (%)	0.5	- 3.6	- 25.2	20.2
4	К.А.	МС	До	1.74	2.29	36.5	109.16
			После	1.74	2.34	33.2	122.63
			Изменения (%)	0	2.1	- 10.9	12.3
5	Ц.Д.	МС	До	1.59	1.94	36.5	84.54
			После	1.56	2.01	33.4	93.88
			Изменения (%)	1.9	3.6	- 9.2	11.11
6	П.А.	МС	До	1.75	2.40	37.22	112.90
			После	1.71	2.45	34.7	120.7
			Изменения (%)	-2.3	2.0	- 7.2	10.69
7	Л.Д.	МС	До	1.67	2.29	33.27	115.18
			После	1.72	2.29	30.7	127.73
			Изменения (%)	2.9	0	-8.3	10.4
8	С.Д.	МС	До	1.43	2.21	43.84	72.08
			После	1.48	2.43	37.4	96.16
			Изменения (%)	3.4	9.9	-17.1	33.3
9	Ф.Л.	МС	До	1.49	2.21	24.56	134.07
			После	1.49	2.21	21.41	153.3
			Изменения (%)	0	0	- 14.0	14.4
10	Д.Н.	МС	До	1.62	2.80	41	110.63
			После	1.58	2.88	38.5	118,19
			Изменения (%)	- 2.5	2.8	-6.4	6.7

Средние изменения значений (%) внутрицикловых показателей техники при плавании на различных скоростях за время проведения исследований представлены в таблице 5 и на рисунке 23.

Таблица - 5 Средние изменения значений (%) внутрицикловых показателей техники при плавании на различных скоростях за время проведения исследований

Дистанционная скорость	Среднее изменение внутрицикловых показателей техники плавания за время проведения исследований (%)			
	Сред. скор	S (Шаг)	Сумма ускорений	ИДЭ
Максимальная	1.24	4.29	- 11.4	1.97
200 м	0.55	2.73	- 30.97	19.9
1500 м	-0.73	4.84	- 10.32	17.2

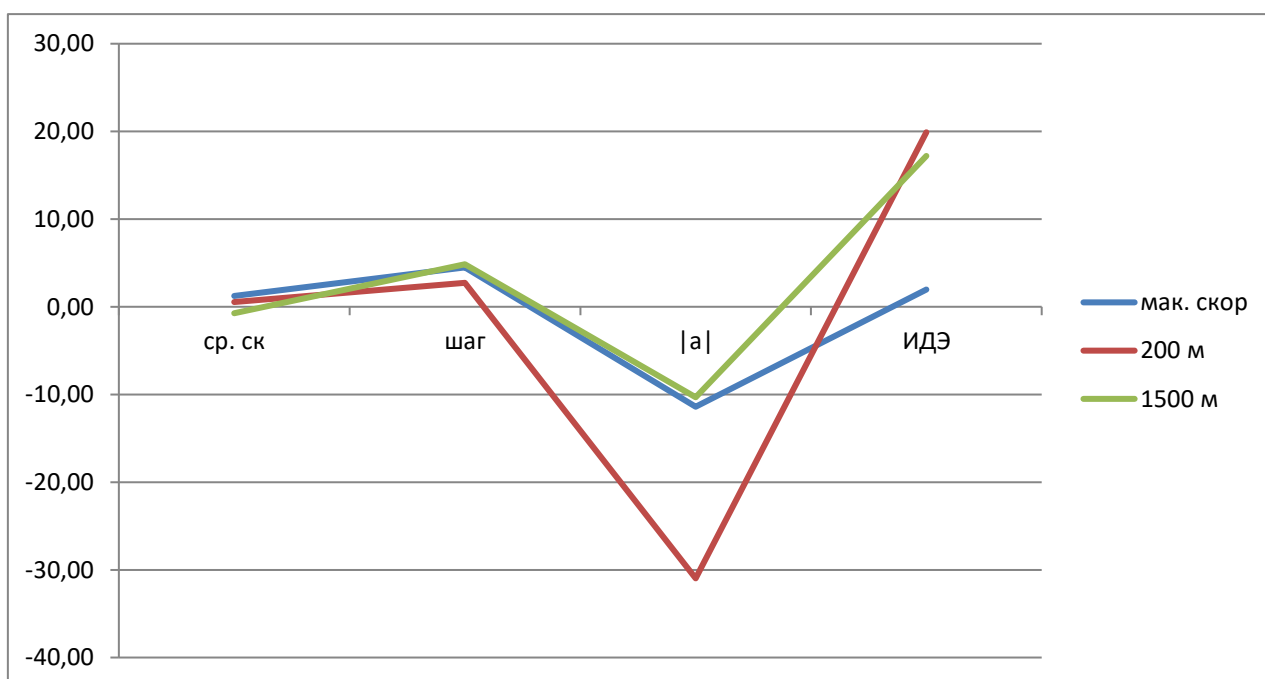


Рисунок 23 – Средние изменения значений (%) внутрицикловых показателей техники при плавании на различных скоростях за время проведения исследований

При анализе данных в Таблице 5 можно установить, что после использования комплексов упражнений внутрицикловые характеристики

плавательного цикла при плавании с различными скоростями имели разнонаправленные изменения.

Так при плавании с максимальной скоростью показатель "средняя скорость плавания в цикле" ухудшился в среднем на 1.24%, хотя "шаг" увеличился в среднем на 4.29%, а сумма ускорений  $|a|$  уменьшилась на 11.4%. Вследствие этого показатель эффективности техники тоже улучшился на 1.97%. Видимо для повышения максимальной скорости плавания требуется выполнять работу, связанную не со снижением порогов колебаний внутрициклового скорости, а, наоборот, повышением максимальных пиков скорости. Для этого пловцы должны повышать мощность гребков, а не формировать способность распределять усилия по всей длине гребка.

Все вышесказанное подтверждается данными анализа корреляционной связи между изучаемыми характеристиками и максимальной скоростью проплывания отрезка (Таблица 6).

Таблица 6 - внутрицикловые характеристики техники плавания пловцов-кролистов при проплывании с максимальной скоростью до и после эксперимента

Показатели	n	$\bar{x} \pm \overline{Sx}$	t – к критерий значимости	P-Value	Статистический вывод
V (avg)	10	0,03±0,01	t = 1,84	0,047	P<0,05
S (stroke)	10	0,06±0,02	t = 2,26	0,023	P<0,05
Sum $ a $	10	-1,7±0,8	t = - 2,05	0,033	P<0,05
IDE	10	15,6±5,2	t = 3,01	0,006	P<0,05

Примечание:  $\bar{x}$ - среднее арифметическое;  $\overline{Sx}$ -ошибка среднего; n – объем выборки; t-test – t критерий Стьюдента.

Результаты, полученные при плавании на скоростях, для которых эффективность техники имеет решающее значение, в большей степени отличаются от плавания на максимальных скоростях. Так для дистанции 1500

м, где результат достигается благодаря способности пловца поддерживать высокую скорость на уровне порога анаэробного обмена (ПАНО), были получены следующие результаты: средняя скорость плавания повысилась в среднем на 0.73%, шаг увеличился на 4.84%, а абсолютная сумма ускорений в цикле сократилась на 10.32%. Благодаря этим изменениям показатель эффективности техники (ИДЭ) улучшился на 17.2%.

Результаты корреляционного анализа изучаемых характеристик и дистанционной скорости проплывания 1500м показал высокую корреляционную связь между значениями. Показатель суммы абсолютных значений и замедлений ( $Sum |a|$ ) коррелирует со значением индекса ( $IDE$ ); Значения средней скорости в цикле ( $Avg$ ) и значение индекса ( $IDE$ ) отражаются на итоговом времени проплывания с данной скоростью. Пловцы-кролисты, благодаря перераспределению усилий по всей длине гребка, добились оптимального соотношения мощности и ускорений в каждой фазе подводной части гребка со снижением пороговых значений максимальной скорости и повышения мгновенных порогов минимальной скорости скоростей внутри цикла.

Таблица 7. Результаты корреляционного анализа изучаемых характеристик и проплывания отрезка со скоростью дистанции 1500 м.

№ п/п	Исследуемые показатели	Avg	S	Sum  a	IDE	1500 m
1	Avg	1	0,456	0,334	0,346	- 0,757*
2	S		1	0,743*	-0,217	-0,161
3	Sum   a			1	- 0,703*	0,204
4	IDE				1	-0,754*
5	1500 m					1

Примечание: \* - коэффициент корреляции достоверен  $p < 0,05$

Обозначения: Avg - средняя скорость в цикле, м/с; S - длина гребка (шаг), м; Sum |a| - сумма абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле; IDE - внутрицикловой индекс динамической эффективности; 1500 m – время проплывания 1500 м, с

Наиболее, на наш взгляд, позитивные изменения в технике плавания после использования комплексов упражнений, произошли на плавательных скоростях, соответствующих соревновательной дистанции 200 м вольным стилем.

Таблица 8. Результаты корреляционного анализа изучаемых характеристик и проплывания отрезка со скоростью дистанции 200 м

№ п/п	Исследуемые показатели	Avg	S	Sum  a	IDE	200 m
1	Avg	1	-0,278	0,065	0,133	-0,448
2	S		1	0,536	-0,240	-0,132
3	Sum  a			1	-0,899***	0,140
4	IDE				1	-0,346
5	200 m					1

Примечание: \*\*\* - коэффициент корреляции достоверен  $p < 0,001$

Обозначения: Avg - средняя скорость в цикле; S - длина гребка (шаг); Sum |a| - сумма абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле плавания; IDE - внутрицикловой индекс динамической эффективности; 200 m – время проплывания 200 м, с

Это можно объяснить тем, что высокоскоростная, но вместе с тем, энергетически наименее затратная техника плавания, определяет успех на этих дистанциях. Высококвалифицированные пловцы-кролисты преодолевают 200 м менее чем за 1 мин. 50 с, используя при этом мощные анаэробные энергетические механизмы с максимальным уровнем концентрации лактата в крови. Таким образом, стабилизация техники плавания с учетом внутренней структуры гребка дает возможность качественного преобразования как технической, так и физической составляющей подготовки пловца (Аришин А.В., Погребной А.И. *Коррекция кинематических характеристик гребка высококвалифицированных пловцов // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Педагогика и психология. 2016. № 12 (178). С. 103–108.*

Данные, представленные на диаграмме, характеризуют наиболее значимые изменения по показателям «Сумма ускорений |a|» и «Индекс динамической эффективности ИДЭ» после проведения коррекции пловцы демонстрируют на соревновательной скорости, которая соответствует дистанции 200 м.

На рисунке 24 представлен кадры из видео регистрации проплывов одного из участников исследования с дистанционной скоростью 200 м до начала и после исследований.

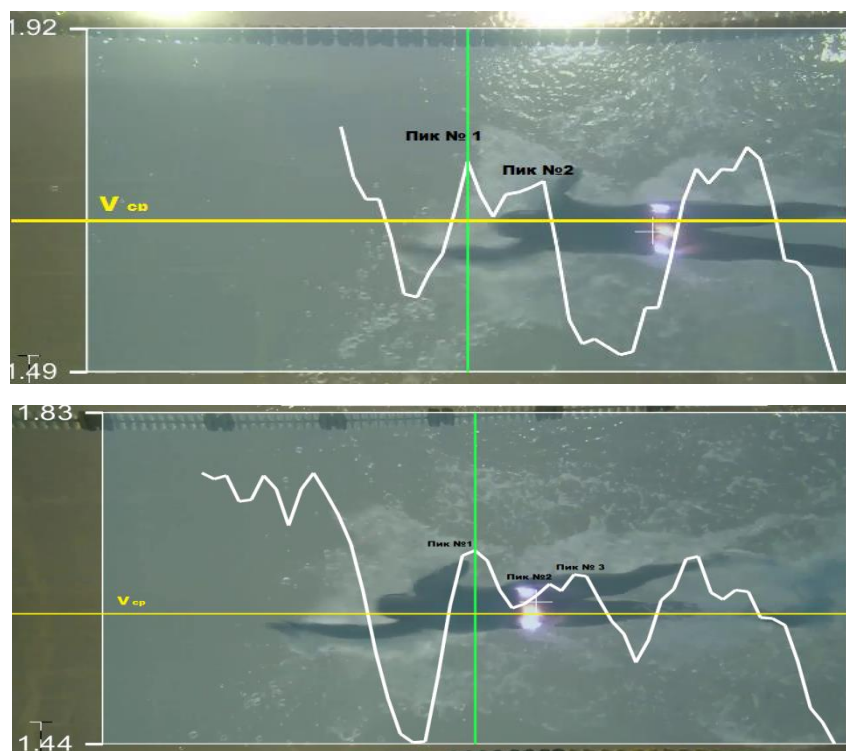


Рисунок 24 – Кадры из видео регистрации проплывов с дистанционной скоростью 200 м. Верхний кадр - до начала исследований, нижний - по окончании исследований. Белая линия - кривая изменения внутрицикловой скорости

При рассмотрении графика изменения внутрицикловой скорости можно определить, что на верхнем кадре пловец, выполняя гребок, генерирует два "пика" скорости, баланс опоры корпуса находится в пассивном положении. С этим связано дальнейшее резкое падение скорости и замедление при переходе основной опоры правой руки на левую руку. В первую очередь это вызвано недостатком мощности гребка в фазе отталкивания. Нижний кадр графика внутрицикловой скорости, был получен после применения специального комплекса упражнений. По скриншоту видно, что пловец перераспределяет усилия на протяжении всей длины гребка, создаваемого за

счет чувства опоры в каждой фазе гребка. Он создает, как это представлено на графике, уже три "пика" скорости, а баланс опоры плавно переходит на правую руку. График колебаний внутрицикловых скоростей расположен выше средних значений на протяжении всего цикла, без резких падений скорости при выполнении подводной части гребка.

Положительные изменения в технике плавания подтвердились результатами выступления на соревнованиях пловцов, принимавших участия в исследованиях, которые представлены в таблице 9.

Таблица - 9. Динамика результатов пловцов до и после коррекции техники плавания и использования разработанных комплексов упражнений

ФИО пловца (звание)	Результат до начала исследований (25м и 50м бассейн)	Результат после применения методики (25м и 50м бассейн)
П. А. (ЗМС)	100в/с - 49.35с. (50м) 50 в/с – 21.44с. (25м)	100 в/с - 48.41с.(50м) 50 в/с – 21.32с. (25м)
П. А. (МСМК)	50 в/с – 22.98с. (25м) 50 в/с – 24.10с. (50 м)	50 в/с – 22.79с. (25м) 50 в/с – 23.99с. (50м)
И. Г. (МС)	1500 в/с – 16.31.74с. (50м)	1500 в/с – 16.25.01с. (50м)
К. А. (МС)	400 в/с – 3.55.15с. (25м) 200 в/с – 1.53.30с. (50м) 400 в/с – 4.03. 21с. (50м)	400 в/с – 3.54.34с. (25м) 200 в/с – 1.53.05с. (50м) 400 в/с – 4.00.84с. (50м)
Ц. Д. (МС)	50 в/с – 24.13с. (25м) 50 в/с – 26.09с. (50м)	50 в/с – 24.06с. (25м) 50 в/с – 24.95с. (50м)
С.Д. (МС)	50 в/с – 23.47с. (50м)	50 в/с – 23.37с. (50м)
Ф. К. (МС)	400 в/с – 4.12. 79с. (25м)	400 в/с – 4.09.71с. (25м)
П. А. (МС)	50в/с – 23.63с. (25м) 100 в/с – 49.78с. (25м) 200 в/с – 1.50.07с. (25м) 100 в/с – 52.55с. (50м) 200 в/с – 1.55.71с. (50м)	50 в/с – 23.43с. (25м) 100 в/с – 49.45с. (25м) 200 в/с – 1.48.12с. (25м) 100 в/с – 51.51с. (50м) 200 в/с – 1.54.79с. (50м)
Л. Д. (МС)	50 в/с – 24. 41с.(25м)	50 в/с – 24.11с. (25м)
Д. Н. (МС)	100 в/с – 54.67с. (50м)	100 в/с – 54.53с. (50м)



Данные, отраженные в таблице 9, получены из официальных протоколов Всероссийской федерации плавания по итогам чемпионата России по плаванию в г. Москва в период с 10 по 14 апреля 2017 г. Также можно отметить, что по итогам чемпионата страны по плаванию - двое пловцов, участвующих в исследованиях, выполнили нормативный отбор для попадания в Национальную команду страны и участия в международных турнирах.

#### 4.3 Заключение по четвертой главе

Результаты экспериментальных исследований подтвердили надежность и информативность показателя «Индекс динамической эффективности» (ИДЭ) при оценке качественных изменений в технике плавания кролистов высокой квалификации.

Вместе с тем, также, как и при использовании показателя КГД(м), корреляционной связи между предложенными в нашем исследовании динамическими показателями и максимальной скоростью плавания установлено не было. Возможно, в первую очередь - это связано с небольшой выборкой, во-вторых, мы учитывали время проплыва за измеримый отрезок длиной в 25м (по циклам) а не всю дистанцию, где улучшение времени по выборке составило от 0,7 до 1,3 сек. Видимо, повышение максимальной скорости плавания связано с превышением пиков ускорений в гребке, а не со снижением суммы их абсолютных значений. Это, в свою очередь, и будет свидетельствовать о повышении эффективности техники плавания и технической подготовленности. Вместе с тем, это предположение требует подтверждения в дальнейших исследованиях.

Предположение о том, что техническая подготовка пловца будет эффективной при использовании индивидуально направленных комплексов упражнений, применяемых по результатам оценки техники плавания, которая проводится с учетом особенностей взаимодействия биомеханических и гидродинамических характеристик плавательного цикла было доказано экспериментальным путем в ходе проведенных исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные диссертационные исследования подтвердили выдвинутую гипотезу и позволили сделать следующие выводы:

Проведенные диссертационные исследования подтвердили выдвинутую гипотезу и позволили сделать следующие выводы:

1. В процессе изучения существующих в практике подготовки пловцов направлений и методик оценки эффективности технической подготовленности было установлено, что всесторонние комплексные исследования обеспечивали до настоящего времени научно-теоретическую базу для бурного роста спортивных результатов в плавании. Однако возникновение новых теорий и концепций в подготовке пловцов с использованием смежных наук требует научно-методической адаптации этих исследований в тренировочной практике.

2. Специалисты и ученые отмечают, что проведение лабораторных и аппаратурных исследований в воде сталкивается с объективными трудностями, обусловленными свойствами водной среды. Тем не менее, создание современных методов видеорегистрации и использование компьютерной вычислительной техники позволяют получать более точные и объективные данные для управления тренировочным процессом пловцов.

3. Были установлены и научно обоснованы критерии оценки колебания скорости внутри плавательного цикла при движении пловца. Изменения ритмо-темповой структуры гребка у пловцов-кролистов высокой квалификации зависят от индивидуальных особенностей техники и продолжительности соревновательной дистанции. На субмаксимальных скоростях (соревновательная дистанция 200 м) квалифицированные пловцы снижают максимальный порог и повышают минимальный порог колебания внутрицикловой скорости, что в значительной степени снижает уровень энергозатрат и повышает скорость плавания, на которой достигается порог анаэробного обмена (ПАНО).

4. Исследование было дополнено разработанной трех фазовой динамической структурой гребка, где в дополнении к существующей двухфазовой структуре (фаза торможения и фаза продвижения) было предложено использовать третью фазу, фазу пассивного торможения. Результаты биомеханического и видеоанализа подтвердили, что кинематические фазовые структуры гребка в плавании должны рассматриваться только в комплексе с их динамическими характеристиками.

5. Фазовая динамическая структура гребка, которая связана с изменением направленности взаимодействия продвигающих усилий пловца и сил гидродинамического сопротивления, позволяет определять динамические резервы техники плавания квалифицированных пловцов. Полученная связанная оценка индивидуальных биомеханических характеристик плавательного цикла, определяла индивидуально направленный комплекс упражнений для коррекции техники плавания в учебно-тренировочном процессе. Полученные закономерности в изменениях фазовой динамической структуры гребка и внутрицикловых колебаний пловцов – кролистов относительно разных диапазонных скоростей, являлись подтверждением для применения специальных комплексов упражнений на воде с учётом их тождественности по индивидуальным кинематическим и динамическим характеристикам техники.

6. Дополнение к системе оценки эффективности техники внедрённым критерием, установили, что индекс динамической эффективности (*ИДЭ*) описывает количественную оценку поступательного движения пловца при нестационарном движении в цикле плавательных локомоций. Индекс отражает корреляционную связь между биомеханическими переменными (длина гребка и средняя скорость в цикле) и гидродинамическим показателем (суммы абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле).

7. Полученные результаты оценки техники плавания на различных соревновательных скоростях пловцов-кролистов с использованием разработанных индексов, определяют степень снижения колебания скорости

плавания в цикле в большей мере характеризует эффективность техники, чем ускоряющие или продвигающие фазы гребка. Параметр  $|a|$  - сумма абсолютных значений мгновенных ускорений несет ключевое влияние как на эффективность гребка относительно оптимальных распределений усилий и мощности гребков, так и на определяющее значение Индекса динамической эффективности (*ИДЭ*).

8. Система связанной оценки биомеханических характеристик и индексов эффективности техники плавания была подтверждена корреляционной матрицей. На дистанции темпом 1500 м существует высокая корреляционная связь между значениями и временем проплывания; длиной гребка ( $S - шаг$ ) и суммой абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле плавания ( $Sum|a|$ ); средней скоростью в цикле ( $Avg$ ) и временем проплыва; суммой абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле плавания ( $Sum|a|$ ) и индексом динамической эффективности (*ИДЭ*); Индексом динамической эффективности (*ИДЭ*) и временем проплыва ( $P < 0,05$ ). На дистанции темпом на 200 м и максимальной скоростью была установлена связь только между значениями и подтверждено высоким уровнем достоверности: суммой абсолютных значений замедлений и ускорений в цикле плавания ( $Sum|a|$ ) и индексом динамической эффективности (*ИДЭ*) ( $P < 0,001$ ).

9. Методика коррекции техники плавания кролистов на основе анализа индивидуальных биомеханических характеристик плавательного цикла подтвердила свою высокую эффективность в процессе педагогического эксперимента. Пловцы, участвующие в исследованиях, улучшили результаты на субмаксимальных скоростях (дистанция 200 м) после использования специального комплекса упражнений на воде. Улучшение показателей динамики плавания и *Индекса Динамической Эффективности (ИДЭ)* было достигнуто за счет оптимизации длины шага ( $S$ ) и существенному уменьшению показателя суммы абсолютных значений мгновенных ускорений и замедлений в цикле ( $|a|$ ). Нужно отметить, что у 4 спортсменов длина шага ( $S$ ) сократилась, но показатель отрицательных ускорений в цикле намного

уменьшился, что говорит об эффективном перераспределении усилий в различных фазах подводной части гребка.

Спортсмены, принимавшие участие в исследованиях, улучшили результаты на своих основных дистанциях вольного стиля во время выступления на чемпионате России по плаванию в 2017 году. Необходимо также отметить, что по итогам этих соревнований двое пловцов выполнили нормативный отбор в Национальную команду страны для участия в международных турнирах.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Целесообразность использования методики коррекции техники плавания пловцов-кролистов состоит в повышении эффективности выполнения подводной части гребка, экономичности и оптимальному перераспределению усилий и в рабочем цикле движения, что, в целом, повышает реализацию двигательного потенциала пловца.

2. Разработанная методика может быть использована не только для коррекции эффективности техники плавания кролем на груди, но и также для других способов плавания, так как в ее разработке учитывались общие закономерности организации движений пловца в воде.

3. Для использования методики при работе с пловцами более низкой квалификации требуется специальный раздел теоретической подготовки для понимания объективных и субъективных механизмов влияющих на внутрицикловую скорость плавания.

4. К процедурам анализа и интерпретации результатов необходимо привлекать тренеров, где в процессе демонстрации видеоматериалов и результатов их обработки формируется окончательная стратегия коррекции техники плавания.

5. Получая информацию по разработанной авторской системе видеоанализа и регистрации данных, тренер имеет возможность комплексно рассматривать особенности технической подготовленности спортсмена и в оперативном режиме корректировать планы подготовки.

6. Разработанная система видеоанализа и оценки индивидуальных динамических характеристик гребка на основе колебаний внутрицикловой скорости должна применяться последовательно, относительно средств и методов, применяемых тренером в ходе тренировочного занятия. Также необходимо учитывать период подготовки спортсмена, объем и интенсивность нагрузок в тренировочном цикле.

7. Специализированные комплексы упражнений являются дополнительным средством технической подготовки пловцов и не должны исключать использование традиционных, хорошо зарекомендовавших средств и методов.

8. Для реализации принципов систематичности и последовательности необходимо использовать данную методику на протяжении всего периода подготовки, использовать комплексы упражнений для пловцов-кролистов необходимо на каждом занятии, а выбор упражнений и вариаций подбирать относительно тех задач, которые устанавливает тренер во время тренировочного занятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аикин, В.А. Общие закономерности дифференцированного обучения биомеханическим элементам техники плавания в возрасте 7-17 лет : автореф. дис. ... д-ра пед. наук / В.А. Аикин ; Сиб. гос. акад. физ. культуры. – Омск, 1997. – 47 с.
2. Аллакин, Ю.А. Методы формирования силового компонента гребковых движений в плавании : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Ю.А. Аллакин ; ВНИИФК. – Москва, 1991. – 21 с.
3. Аришин, А.В. Использование метода компьютерного видеонализа для контроля и коррекции технической подготовки квалифицированных пловцов / А.В. Аришин, А.И. Погребной // Олимпийский спорт и спорт для всех. XX Международный научный конгресс / Международная ассоциация университетов физической культуры и спорта, Министерство спорта Российской Федерации, Олимпийский комитет России, Нац. гос. ун-т физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 415–417.
4. Аришин, А.В. Коррекция кинематических характеристик гребка высококвалифицированных пловцов / А.В. Аришин, А.И. Погребной // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3 : Педагогика и психология. – 2016. – № 12 (178). – С. 103–108.
5. Аришин, А.В. Сравнительный анализ кинематики гребка у пловцов высокой квалификации / А.В. Аришин, А.И. Погребной // Вестник Адыгейского государственного университета. – 2016. – № 2. – С. 102.
6. Баграш, Л.Р. Тензометрическое исследование усилий пловца / Л.Р. Баграш, Б.В. Миненков, М.Н. Чубаров // Теория и практика физической культуры. – 1973. – № 4. – С. 27–31.
7. Бальсевич, В.К. Биодинамические характеристики некоторых видов спортивных и естественных локомоций / В.К. Бальсевич // Вопросы биомеханики физических упражнений. – Омск, 1974. – С. 19–54.
8. Белоковский, В.В. Исследование и совершенствование некоторых



- основных характеристик техники плавания кролем : автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.В. Белоковский. – Москва, 1968. – 16 с.
9. Биомеханические основы обучения плаванию : учебное пособие / В.Т. Гринев, А.И. Погребной, Ю.И. Костюк, Т.М. Звягинцева. – Краснодар, 1990. – 82 с.
  10. Булгакова, Н.Ж. Методика подготовки пловцов высокого класса в ДЮСШ в процессе многолетней тренировки : учебное пособие / Н.Ж. Булгакова, Ж.С. Ванькова, А.А. Ваньков. – Москва : ГЦОЛИФК, 1980. – 63 с.
  11. Бутович, Н.А. Биодинамический анализ движений способа плавания кроль и его приложение в методике обучения плаванию и в совершенствовании техники пловцов : дис. ... канд. пед. наук / Н.А. Бутович. – Москва, 1946. – 91 с.
  12. Бутович, Н.А. Кроль быстрейший способ плавания / Н.А. Бутович, Б.И. Чудковский. – Москва : Физкультура и спорт, 1968. – 128 с.
  13. Верхошанский, Ю.В. Программирование и организация тренировочного процесса / Ю.В. Верхошанский. – Москва : Физкультура и спорт, 1985. – 176 с.
  14. Вороненко, С.Ф. Формирование ритмо-скоростной структуры двигательного навыка в спортивном плавании с использованием искусственно созданных условий : автореф. дис. ... канд. пед. наук / С.Ф. Вороненко ; ВНИИФК. – Москва, 1987. – 23 с.
  15. Вржесневский, И.В. Основы техники плавания / И.В. Вржесневский // Биомеханика и техника отдельных видов спорта / Под общ. ред. Н.А. Лапутина. – Киев, 1973. – С. 5–21.
  16. Вржесневский, И.В. Плавание : учебник для техникумов физической культуры / И.В. Вржесневский. – 2-е испр. изд. – Москва : Физкультура и спорт, 1954. – 334 с. : ил.
  17. Гидродинамические характеристики спортивных судов: эффект и допустимость использования водорастворимых полимерных покрытий

- для повышения скорости движения лодки / В.Б. Иссурин, Ю.Ф. Иванюта, Е.А. Краснов, А.П. Силаев, А.А. Хомяков // Теория и практика физической культуры. – 1980. – № 6. – С. 444.
18. Гидродинамические характеристики элитных пловцов на различных этапах подготовки / С.В. Колмогоров [и др.] // Теория и практика физической культуры. – 1991. – № 12. – С. 21–29.
  19. Гилев, Г.А. Об эффективности продвижения пловца / Г.А. Гилев, В.В. Ломоносов // Теория и практика физической культуры. – 1986. – № 1. – С. 14–17.
  20. Гилев, Г.А. Проблемные аспекты подготовки пловцов высокого класса : монография / Г.А. Гилев. – Москва : МГЦУ, 1997. – 205 с.
  21. Гилев, Г.А. Эффективность продвижения пловца в кроле на груди / Г.А. Гилев, В.В. Ломоносов, С.В. Малиновский // Теория и практика физической культуры. – 1976. – № 12. – С.10–11.
  22. Гордон, С.М. Гидродинамическое сопротивление и продвигающие силы пловца / С.М. Гордон, В.А. Ширковец // Теория и практика физической культуры. – 1968. – № 6. – С. 17–21.
  23. Гордон, С.М. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости потока, возраста и антропометрических показателей / С.М. Гордон, Д.Р. Дмитриев, И.В. Чеботарев // Теория и практика физической культуры. – 1985. – № 4. – С. 11–13.
  24. Гордон, С.М. Определение направленности и интенсивности основных тренировочных упражнений при плавании вольным стилем / С.М. Гордон // Теория и практика физической культуры. – 1958. – Т. XXI, Вып. 7. – С. 525–532.
  25. Гордон, С.М. Структурный анализ основных параметров, обуславливающих результат в спортивном плавании / С.М. Гордон, К.А. Ширковец // Теория и практика физической культуры. – 1969. – № I. – С. 8–11.
  26. Горелов, А.А. Теоретические основы физической культуры : курсы

- лекций / А.А. Горолев, О.Г. Румба, В.Л. Кондаков. – Белгород : Лит Кара Ван, 2009. – 124 с.
27. Городничев, Р.М. Спортивная электронейромиография / Р.М. Городничев ; Великолукская гос. акад. физ. культуры. – Великие Луки : [б. и.], 2005. – 227 с.
28. Гречанников, В.Н. Система оценки спортивных результатов в плавании как фактор совершенствования учебно-тренировочного процесса : автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.Н. Гречанников. – Ленинград, 1983. – 22 с.
29. Гринев, В.Т. Некоторые особенности гребка при плавании способом кроль / В.Т. Гринев // Теория и практика физической культуры. –1972. – № 9. – С. 20–22.
30. Гринев, В.Т. Экспериментальное исследование эффективности гребка, методики оценки и совершенствования техники спортивного плавания : автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.Т. Гринев. – Москва, 1977. – 22 с.
31. Долгов, В.А. К статистической обработке результатов спортивных измерений / В.А. Долгов, В.В. Лысенко. – Краснодар, 1990. – 74 с.
32. Донской, Д.Д. Строение действий (биомеханическое обоснование строения спортивного действия и его совершенствование) / Д.Д. Донской. – Москва : Физкультура, образование, наука, 1995. – 70 с.
33. Дышко, Б.А. Инновационная технология оценки эффективности техники выполнения циклических локомоций (на примере плавания) / Б.А. Дышко, А.Б. Кочергин, Д.В. Мамонтов // Состояние и перспективы технического обеспечения спортивной деятельности : сборник статей (материалы III Международной научно-технической конференции) / ред. кол.: И.В. Бельский, В.Е. Васюк, Н.А. Парамонова. – Минск, 2014. – С. 155–161.
34. Загrevский, В.И. Модели анализа движений биомеханических систем / В.И. Загrevский. – Томск, 1990. – 124 с.
35. Зациорский, В.М. Кибернетика, математика, спорт / В.М. Зациорский. –

- Москва : Физкультура и спорт, 1969. – 200 с.
36. Зимкин, Н.В. Физиологическая характеристика особенностей двигательного аппарата к различным видам деятельности / Н.В. Зимкин // IV Всесоюзный симпозиум по физиологическим проблемам адаптации Таллии. – Тарту : Минвуз СССР, 1984. – С 73–75.
  37. Ивченко, Е.В. Особенности техники движений у юных пловцов / Е.В. Ивченко, И.О. Шухардин, А.И. Крылов // Совершенствование двигательных действий спортсменов водных видов спорта : сб. науч. тр. – Ленинград, 1989. – С. 26–30.
  38. Ильин, С.В. О сопротивлении воды при плавании / С.В. Ильин // Теория и практика физической культуры. – 1961. – Т. XXIV. – Вып. 5. – С. 383–387.
  39. Иссурин, В.Б. Диссертационные исследования в США / В.Б. Иссурин // Плавание. – Москва : Физкультура и спорт, 1975. – Вып. 1. – С 30–31.
  40. Иссурин, В.Б. Направления и результаты зарубежных исследований по плаванию / В.Б. Иссурин // Теория и практика физической культуры. – 1975. – № 8. – С. 65–67.
  41. Иссурин, В.Б. Нормативное и факторное исследование скоростно-силовой и технической подготовленности высококвалифицированных пловцов / В.Б. Иссурин, А.Н. Дементьев, А.Б. Глазков // Теория и практика физической культуры. – 1977. – № 7. – С. 8–11.
  42. Иссурин, В.Б. О механизме весельного гребка / В.Б. Иссурин, Е.А. Краснов, Г.Г. Разумов // Теория и практика физической культуры. – 1980. – № 9. – С. 50–54.
  43. Иссурин, В.Б. Оптимизация пространственного построения гребка при плавании / В.Б. Иссурин, Ю.И. Костюк // Теория и практика физической культуры. – 1984. – № 4. – С. 10–12.
  44. Иссурин, В.Б. Основы общей теории водных спортивных локомоций / В.Б. Иссурин // Теория и практика физической культуры. – 1985. – № 8. – С. 44–47.

45. Иссурин, В.Б. Подготовка спортсменов XXI века: научные основы и построение тренировки / В.Б. Иссурин. – Москва : Спорт, 2016. – 464 с.
46. Иссурин, В.Б. Пространственная кинематика гребка и перенос навыка в плавании различными способами / В.Б. Иссурин, И.Ю. Костюк // Теория и практика физической культуры. – 1982. – № 5. – С. 15–17.
47. Иссурин, В.Б. Формирование спортивно-технического мастерства в водных циклических видах спорта : автореф. дис. ... д-ра пед. наук / В.Б. Иссурин. – Москва, 1989. – 48 с.
48. Карташов, И.П. Специализированное развитие силовых возможностей в тренировке пловцов-кролистов : автореф. дис. ... канд. пед. наук / И.П. Карташов. – Ленинград, 1985. – 22 с.
49. Каунсилмен, Д.Е. Скорость и ускорение движений рук при плавании кролем / Д.Е. Каунселмен // Плавание : ежегодник. – 1983. – Вып. 1. – С. 18-21.
50. Каунсилмен, Д.Е. Спортивное плавание / Д.Е. Каунселмен. – Москва : Физкультура и спорт, 1982. – 208 с.
51. Кебкало, В.И. Совершенствование согласования локомоторных и дыхательных движений в спортивном плавании : учебное пособие / В.И. Кебкало, Д.Ф. Мосунов. – Ленинград, 1985. – 31 с.
52. Киселева, О.П. Обучение и совершенствование техники плавания при помощи радиосвязи и увеличенных гребущих поверхностей : автореф. дис. ... канд. пед. наук / О.П. Киселева. – Москва, 1975. – 25 с.
53. Клецов, Г.И. Динамографические исследования двигательного навыка и специальной работоспособности в плавании способом кроль : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Г.И. Клевцов. – Минск, 1975. – 22 с.
54. Клешнева, В.В. Скорость, темп и шаг в плавании / В.В. Клешнева // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Плавание. Исследования, тренировка, гидрореабилитация». – Санкт-Петербург : Плавин, 2001. – С. 34–37.
55. Козлов, А.В. Обучение и совершенствование спортивных способов

- плавания / А.В. Козлов ; Нац. гос. ун-т физ. культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2010. – 30 с.
56. Козлов, А.В. Особенности взаимосвязи биомеханических показателей гребка в кроле на груди / А.В. Козлов // Итоговая научная конференция ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта : сборник. – Ленинград, 1982. – С. 24.
57. Козлов, И.М. Биомеханические факторы организации движений у человека : дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.13 / Козлов Игорь Михайлович. – Ленинград, 1984. – 307 с.
58. Койгеров, С.В. Повышение уровня технической подготовленности пловцов высших разрядов на основе применения средств оперативного контроля : автореф. дис. ... канд. пед. наук / С.В. Койгеров. – Ленинград, 1982. – 24 с.
59. Койгеров, С.В. Инструментальные методы научных исследований в плавании : методические разработки для Высшей школы тренеров / С.В. Койгеров ; ГЦОЛИФК. – Москва : [б. и.], 1991. – 48 с.
60. Койгеров, С.В. Комплексная оценка технического мастерства пловцов высших разрядов / С.В. Койгеров, С.М. Фохт // Совершенствование методов и средств физического воспитания и спортивной тренировки / ГДОИФК им. П.Ф. Лесгафта. – Ленинград, 1979. – С. 45–46.
61. Колмогоров, С.В. Кинематические и динамические характеристики установившегося нестационарного движения элитных пловцов / С.В. Колмогоров // Российский журнал биомеханики. – 2008. – Т. 12, № 4 (42). – С. 59–74.
62. Кочергин, А.Б. Методические подходы к использованию концепции "искусственная управляющая и предметная среды" в подготовке высококвалифицированных пловцов / А.Б. Кочергин // Моделирование спортивной деятельности в искусственно созданной среде (стенды, тренажеры, имитаторы) : (материалы конф.). – Москва, 1999. – С. 50–52.
63. Красильников, В.Л. Овладение рациональной техникой плавания

- кролем на спине путем освоения модельного гребка / В.Л. Красильников // Теория и практика физической культуры. – 1987. – № 7. – С. 39–40.
64. Крылов, А.И. Восстановить связь поколений / А.И. Крылов, А.А. Бутов // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2012. – № 11 (93). – С. 66–74.
65. Левицкий, В.В. Исследование средств и методов совершенствования техники плавания спортсменов высших разрядов : автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.В. Левицкий. – Киев, 1981. – 20 с.
66. Лищенко, В.Е. К построению многолетней тренировки высококвалифицированных спортсменов / В.Е. Лищенко // Теория и практика физической культуры. – 1997. – № 3. – С. 21–22.
67. Масальгин, Н.А. Математико-статистические методы в спорте / Н.А. Масальгин. – Москва : Физкультура и спорт, 1974. – 151 с.
68. Мельков, Ю.В. Выбор и оценка упражнений, используемых в тренировке пловцов / Ю.В. Мельков, И.М. Козлов, М.А. Годик // Плавание : ежегодник. – 1979. – Вып. 2. – С. 30–32.
69. Мельков, Ю.В. Исследование координационной структуры силовых упражнений в специальной силовой подготовке пловцов и обоснование их применения : дис. ... канд. пед. наук / Ю.В. Мельков. – Ленинград, 1973. – 168 с.
70. Методика срочного контроля и коррекции техники плавания в соревновательных и тренировочных упражнениях : учебно-методическое пособие / под ред. А. Кравцова. – Москва : ТВТ Дивизион, 2010. – 88 с.
71. Модельные характеристики спортивных способов плавания с методикой их совершенствования / Р.Б. Хальянд [и др.]. – Таллин, 1986. – 98 с.
72. Молинский, К.К. Применение подготовительных упражнений различного характера в тренировке пловцов : автореф. дис. ... канд. пед. наук / К.К. Молинский. – Ленинград, 1966. – 18 с.
73. Молинский, К.К. Применение упражнений общей физической

- подготовки в воде / К.К. Молинский, В.Б. Иссурин // Плавание : ежегодник. – 1971. – Вып. 2. – С. 28–30.
74. Мосунов, Д.Ф. Взаимосвязь темпа, шага и скорости пловца / Д.Ф. Мосунов. – Санкт-Петербург : Спортинформпатент, 1994. – 19 с.
75. Мосунов, Д.Ф. Дидактические основы совершенствования двигательных действий спортсмена (на примере плавания) : дис. ... д-ра пед. наук / Д.Ф. Мосунов ; Гос. ин-т физ. культуры им. П.Ф. Лесгафта. – Санкт-Петербург, 1992. – 306 с.
76. Мосунов, Д.Ф. Семиударный кроль на груди / Д.Ф. Мосунов // Плавание. Исследования, тренировка, гидрореабилитация : материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : Плавин, 2001. – С. 37–39.
77. Мосунов, Д.Ф. Совершенствование развивающий педагогический процесс / Д.Ф. Мосунов // Материалы Всемир. науч. конгр. «Спорт в современном обществе» : Тез. второго направления. Педагогика. Психология. – Тбилиси, 1980. – С. 123–124.
78. Оноприенко, Б.И. Зависимость сопротивления воды от положения тела пловца / Б.И. Оноприенко // Теория и практика физической культуры. – 1968. – № 9. – С. 12–15.
79. Оноприенко, Б.И. Исследование влияния морфологических особенностей на гидродинамические качества пловцов : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Б.И. Оноприенко. – Москва, 1968. – 23 с.
80. Оноприенко, Б.И. Номограммы для определения сопротивления воды / Б.И. Оноприенко // Теория и практика физической культуры. – 1969. – № 8. – С. 5–7.
81. Оноприенко, Б.И. Биомеханика плавания / Б.И. Оноприенко. – Киев : Здоров'я, 1981. – 192 с.
82. Орехов, Е.Ф. Особенности техники плавания спринтеров и стайеров и пути ее совершенствования : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Е.Ф. Орехов. – Ленинград, 1982. – 24 с.



83. Орехов, Е.Ф. Применение специальных упражнений для совершенствования техники плавания кролистов / Е.Ф. Орехов // Актуальные вопросы спортивного плавания : сб. науч. трудов ОГИФК. – Омск, 1985. – С. 71–78.
84. Панарин, Б.Г. Методика обучения плаванию на основе формирования автоматизированной техники плавательных движений на суше / Б.Г. Панарин // Теория и практика физической культуры. – 1991. – № 7. – С. 57–58.
85. Петрович, Г.И. Оценка специальной физической подготовленности пловцов : методические рекомендации / Г.И. Петрович ; Белорус. ин-т физ. культуры. – Минск : [б. и.], 1990. – 30 с.
86. Платонов, В.Н. Плавание / В.Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2000. – 497 с.
87. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические применения / В.Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
88. Платонов, В.Н. Спортивное плавание : путь к успеху : в 2 кн. / В.Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2011.
89. Платонов, В.Н. Физическая подготовка спортсмена / В.Н. Платонов, М.М. Булатова. – Киев : Олимпийская литература, 1995. – 320 с.
90. Погребной, А.И. Научно-педагогические основы обучения плаванию в школьном возрасте : дис. ... д-ра пед. наук / А.И. Погребной ; Кубанская гос. акад. физ. культуры. – Краснодар, 1997. – 370 с.
91. Полевой, В.Г. Разработка методики управления техническим мастерством пловцов-кролистов различной квалификации : автореф. дис. ... канд. пед. наук / В.Г. Полевой. – Москва, 1985. – 18 с.
92. Попов, Г.И. Биомеханика двигательной деятельности : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Г.И. Попов, А.В. Самсонова. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2013. – 320 с.

93. Проблема совершенствования силовой подготовки квалифицированных пловцов / С.М. Вайцеховский [и др.] // Плавание. – 1983. – Вып.1. – С. 23–28.
94. Румянцев, В.А. Моделирование соревновательных упражнений пловцов с помощью методов лидирования и срочной обратной связи / В.А. Румянцев // Теория и практика физической культуры. – 1989. – № 6. – С. 23–25.
95. Сайгин, М.И. Специальная силовая подготовленность пловцов и особенности ее проявления в спортивном плавании : автореф. дис. ... канд. пед. наук / М.И. Сайгин. – Киев, 1985. – 20 с.
96. Сафарян, И.Г. Исследование гидродинамических, скоростно-силовых и антропометрических показателей высококвалифицированных брассисток / И.Г. Сафарян, Л.В. Селина // Теория и практика физической культуры. – 1975. – № 12. – С. 6–9.
97. Сафарян, И.Г. Исследование зависимости скорости плавания кролем от некоторых гидродинамических, скоростно-силовых и антропометрических показателей : автореф. дис. ... канд. пед. наук / И.Г. Сафарян. – Москва, 1969. – 20 с.
98. Силовые тренажеры в практике подготовки высококвалифицированных пловцов / Т.М. Абсалямов [и др.] // Плавание. – Москва : Физкультура и спорт, 1979. – Вып. 1. – С. 25–28.
99. Согласование движений рук и ног при плавании кролем на груди / А.В. Козлов [и др.] // Совершенствование двигательных действий спортсменов водных видов спорта : сб. научных трудов ГДОИФК. – Ленинград, 1989. – С. 3–8.
100. Теория и методика обучения базовым видам спорта. Плавание : учебник для студентов учреждений высшего образования / А.А. Литвинов [и др.]. – Москва : Академия, 2014. – 272 с.
101. Техничко-тактические особенности преодоления олимпийских дистанций сильнейшими пловцами / Т.М. Абсалямов [и др.] // Плавание.

- Москва : Физкультура и спорт, 1977. – Вып. 2. – С. 40.
102. Уголькова, И.В. Гидродинамическое качество как фактор технической подготовленности пловца : автореф. дис. ... канд. пед. наук / И.В. Угольков. – Москва, 1994. – 24 с.
103. Ципин, Л.Л. Методологические аспекты применения электромиографии при изучении спортивных движений разной интенсивности / Л.Л. Ципин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – № 8 (126). – С. 189–193.
104. Чудовский, В.И. Некоторые вопросы биомеханики кроля / В.И. Чудковский // Плавание. – Москва : Физкультура и спорт, 1973. – Вып. 1. – С. 35–37.
105. Чудовский, В.И. Роль подъемных сил в спортивном плавании / В.И. Чудковский // Плавание. – Москва : Физкультура и спорт, 1975. – Вып. 1. – С. 42–43.
106. Шавлев, Г.А. Контроль за силовой подготовкой пловца / Г.А. Шавлдев, В.М. Борисенко // Теория и практика физической культуры. – 1966. – № 7. – С. 9–11.
107. Эвартс, Э. Механизмы головного мозга, управляющие движением / Э. Эвартс // Мозг. – Москва : Мир, 1984. – С. 199–218.
108. A power balance applied to swimming / H.M. Toussaint, F.C.T. van der Helm, J.R. Elzerman, A.P. Hollander, G. de Groot, G.J. van Ingen Schenau // Biomechanics and medicine in swimming / Edited by Hollander A. P., Huijing P. A., de Groot G. – Champaing : Human kinetics, 1983. – P. 165–172.
109. Active drag measurements in elite US swimmers / J. Cappaert, S. Kolmogorov, J. Walker, J. Skinner, F. Rodriguez, B. Gordon // Journal Medicine and science in exercise and sports. – 1996. – Vol. 28. – P. 279.
110. Active drag related to velocity in male and female swimmers / H.M. Toussaint, G. de Groot, H.H.C.M. Savelberg, K. Vervoorn, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // Journal of biomechanics. – 1988. – № 21. – P. 435–438.

111. Adaptations to interval training at common intensities and different work: rest ratios / A.P. Barzdukas, P. Franciosi, S. Trappe, C. Letner, J.P. Troup // Biomechanics and medicine in swimming, swimming science VI / MacLaren D., Reilly T., Lees A., eds. – London : E & FN Spon, 1992. – P. 189–194.
112. Adrian, M.J. Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke / M.J. Adrian, M. Singh, P.V. Karpovich // Journal of applied physiology. – 1966. – № 21. – P. 1763–1766.
113. Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers / Handel P.J. van, A. Katz, J.R. Morrow, J.P. Troup, J.T. Daniels, P.W. Bradley // Swimming Science V / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. – Champaign, Ill : Human kinetics books, 1988. – P. 219–227.
114. Alexander, R.M. Animal Mechanics / R.M. Alexander. – Boston : Blackwell Scientific Publications, 1983.
115. Alexander, R.M. Swimming / R.M. Alexander // Mechanics and energetics of animal locomotion / R.M. Alexander, G. Goldspink (Eds.). – London : Chapman & Hall, 1977. – P. 222–249.
116. Amar, J. The human motor; or The scientific foundations of labor and industry / Jules Amar. – London : Routledge, 1920.
117. An estimation of active drag in front crawl swimming / Vaart A.J.M. van de, Savelberg H.H.C. M. Groot G. de, Hollander A.P., Toussaint H.M., Ingen Schenau G. J. van // Journal biomech. – 1987. – № 20. – P. 543–546.
118. Astrand, P.O. Textbook of work physiology / P.O. Astrand, K. Rodahl. – New York : McGraw-Hill, 1977.
119. Barbosa, T. Biomechanics of competitive. swimming strokes / Tiago M. Barbosa, Daniel A. Marinho, Mario J. Costa, Antonio Jose Silva // Biomechanics in applications. – 2011. – P. 367–388.
120. Barbosa, T.M. Kinematical modifications in duced by the in trodution of the lateral in spiration in butterfly stroke / T.M. Barbosa, F. Sousa, J.P. Vilas-Boas // Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. – 1999. – P. 15-19.
121. Barthels, K. Three dimensional spatial hand patterns of skilled butterfly

- swimmers / K. Barthels, M.J. Adrian // *Swimming II* / Clarys J.P., Lewillie L., eds. – Baltimore : University Park Press, 1974. – P. 154–160.
122. Barthels, K. Variability in the dolphin kick under four conditions / K. Barthels, M.J. Adrian // *First international symposium on biomechanics in swimming, waterpolo and diving proceedings* / edited by L. Lewillie, J.P. Clarys. – Brussels : Universit e Libre de Bruxelles Laboratoire de L'effort. – P.105–108.
123. Behnke, R.S. *Kinetic Anatomy* / R.S. Behnke. – 2 ed. – Human Kinetics, 2006. – 208 p.
124. Belokovsky, V. A hydrokinetic apparatus for the study and improvement of leg movements in breaststroke / V. Belokovsky, E. Ivanchenko // *International series on sport sciences. Vol. 2, Swimming II* / edited by J.P. Clarys, L. Lewillie. – Baltimore : University Park Press, 1975. – P. 64–69.
125. Berger, M.A.M. Hydrodynamic drag and lift forces on human hand / arm models / M.A.M. Berger, G. de Groot, P. Hollander // *Journal of biomechanics*. – 1995. – № 28. – P. 125–133.
126. Berger, M.A.M. Technique and energy losses in front crawl swimming / M.A.M. Berger, A.P. Hollander, G. de Groot // *Med. sci. sports exerc.* – 1997. – № 29. – P. 1491–1498.
127. *Biophysics in swimming* / D.R. Pendergast, C. Capelli, A.B. Craig, P.E. di Prampero, A.E. Minetti, J. Mollendorf, I.I. Termin, & P. Zamparo // *Biomechanics and medicine in swimming X* / J.P. Vilas-Boas, F. Alves & A. Marques (eds.). – Porto : Portuguese Journal of sport science, 2006. – P. 185–189.
128. Bixler, B. The computational fluid dynamics analysis of a swimmer's hand and arm. Report presented to the sports medicine committee of U.S.A. Swimming, Colorado Springs / B. Bixler. – 1999.
129. Brown, R.M. The role of lift in propelling swimmers / R.M. Brown, J.E. Counsilman // *Biomechanics* / edited by J.M. Cooper. – Chicago, IL: Athletic Institute, 1971. – P. 179–188.

130. Cappaert, J. Biomechanical high lights of world champion and Olympic swimmers / J. Cappaert, D. Pease, J. Troup // *Biomechanics and Medicine in Swimming VII* / J. Troup, A. Hollander, D. Strasse, S. Trappe, J. Cappaert, T. Trappe (eds.). – London : E & FN SPON, 1996. – P. 76–80.
131. Catteau, R. L'enseignement de la natation, Edition vigot, Paris / R. Catteau, G. Garoff // *The science of swimming* / J. Counsilman. – New York : Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1968.
132. Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume / L.J. d'Acquisto, M. Bone, S. Takahashi, G. Langhans, A.P. Barzdukas, J.P. Troup // *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Science VI* / MacLaren D., Reilly T., Lees A., eds. – London : E & FN Spon, 1992. – P. 201–206.
133. Chatard, J.C. Analysis of determinants of swimming economy in front crawl / J.C. Chatard, J.M. Lavoie, J.R. Lacour // *Eur. journal appl. physiol.* – 1990. – № 61. – P. 88–92.
134. Clarys, J.P. The Brussels Swimming EMG project / J.P. Clarys // *Swimming / Science V*, B. Ungerechts, K. Wilke & K. Reischle (Eds.). – P. 157–172.
135. Clarys, J.P. A review of EMG in Swimming: explanation of facts and / or feedback in formation / J.P. Clarys // *Biomechanics and medicine in swimming* / A.P. Hollander, P.A. Huijing & G. de Groot (Eds.). – Illinois : Human kinetics publishers, 1983. – P. 123–135.
136. Clarys, J.P. Relationship of human body form to passive and active hydrodynamic drag / J.P. Clarys // *Biomechanics VI*. – 1978. – P. 120–125.
137. Clarys, J.P. Total resistance of selected body positions in the front crawl / J.P. Clarys, J. Jiskoot. – Baltimore : University park press, 1975.
138. Colwin, C. Breakthrough swimming / C. Colwin. – Champaign : Human Kinetics, 2002. – 296 p.
139. Colwin, C. Fluid dynamics: Vortex circulation in swimming propulsion / C. Colwin // *ASCA World Clinic Yearbook* / edited by T.F. Welsh. – Fort Lauderdale, FL: American Swimming Coaches Association, 1984. – P. 38–

46.

140. Colwin, C. *Swimming In to the 21st Century* / C. Colwin. – Champaign, IL: Leisure press, 1992.
141. Comparative analysis of 100 m and 200 m events in the four strokes in top level swimmers / D. Chollet, P. Pelayo, C. Tourney, M. Sidney // *Journal of hum movement studies*. – 1996. – № 31. – P. 25–37.
142. Comparative analysis of studies of speed variations with in a breaststroke cycle / C. Tourny, D. Chollet, J. Micallef, J. Macabies // *Biomechanics and medicine in swimming VI* / D. MacLaren, T. Reilly, A. Lees (Eds.). – London : E & FN Spon, 1992. – P. 161–166.
143. Comparative study of the response of kinematical variables from the hip and the center of mass in butterfly / T.M. Barbosa, J. Santos Silva, F. Sousa, J.P. Vilas-Boas // *Biomechanics and Medicine in Swimming IX* / J.C. Chatard, (ed.). – 2003. – P. 93–98.
144. Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming / A.P. Hollander, G. de Groot, G. van Ingen Schenau, R. Kahman, H. Toussaint // *Swimming Science V* / B. Ungerechts, K. Wilke, K. Reischle, (Eds.). – Illinois : Human kinetics books, 1988. – P. 39–43.
145. Costill, D.L. *Handbook of sports medicine and science. Swimming* / D.L. Costill, E.W. Maglischo, A.B. Richardson. – Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1992. – 214 p.
146. Counsilman, J.E. *Science of swimming* / J.E. Counsilman. – Englewood Cliffs, N.J. : PrenticeHall, 1968.
147. Counsilman, J.E. *Swimming power* / J.E. Counsilman // *Biokinetic Strength Training: Copyright*. – 1980. – Vol. 1. – P. 41–48.
148. Counsilman, J.E. The application of Bernoulli's principle to human propulsion in water / J.E. Counsilman // *Swimming I* / Lewillie L., Clarys J.P., eds. – Brussels : Universite Libre de Bruxelles, 1971. – P. 59–71.
149. Craig, A. Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming / A. Craig, D. Pendergast // *Medicine and science*

- sports exercise. – 1979. – № 11. – P. 278–283.
150. Critical appraisal and hazards of surface electromyography data acquisition in sport and exercise / J.P. Clarys, A. Scafoglieri, J. Tresignie, T. Reilly, P.V. Roy // *Asian journal of sports medicine*. – 2010. – № 1(2). – P. 69–80.
151. Cunha, P. Kinematic changes with in spiratory actions in butterfly swimming / P. Cunha, J. Gomes-Pereira // *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* / K.L. Keskinen, P.V. Komi & P.A. Hollander, (eds.). – Jyvaskyla : Gummerus printing, 1999. – P. 9–14.
152. De, Vries H.A. *Physiology of exercise* / H.A. De Vries, T. Housh. – Madison Wisconsin : WCB Brown and benchmark publ., 1994. – 636 p.
153. Deschodt, V. Relative contribution of arms and legs in human to propulsion in 25 m sprint front crawl swimming / V. Deschodt // *European Journal of Applied Physiology*. – 1999. – № 80. – P. 192–199.
154. Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race / H. Toussaint, A. Carol, H. Kranenborg, M. Truijens // *Medicine science sports exercise*. – 2006. – № 38. – P. 1635–1642.
155. Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes / Y.A. Aujouannet, M. Bonifazi, F. Hintzy [et al.] // *Applied physiology nutrition and metabolism*. – 2006. – № 31. – P.150–158.
156. Effects of reduced training on muscular power in swimmers / D.L. Costill, D.S. King, R. Thomas, M. Hargreaves // *Physician and Sportsmedicine*. – 1985. – № 13. – P. 94–101.
157. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art / T.M. Barbosa, J.A. Bragada, V.M. Reis, D.A. Marinho, C. Carvalho, J.A. Silva // *Journal of science and medicine in sports*. – 2010. – № 13. – P. 262–269.
158. Energetics of swimming man / P.E. Di Prampero, D.R. Pendergast, D.R. Wilson, D.W. Rennie // *J. Appl. Physiol.* – 1974. – № 37. – P. 1–5.
159. Energy cost and intra cyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke / T. Barbosa, K.L. Keskinen, R.J. Fernandes, P. Colago, A.B.



- Lima, J.P. Vilas-Boas // *European of applied physiology*. – 2005. – № 93. – P. 519–523.
160. Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events / D. Costill, J. Kovaleski, D. Porter, R. Fielding, D. King // *Journal of sports medicine*. – 1985. – № 6. – P. 266–270.
161. Essen, B. Intramuscular substrate utilization during prolonged exercise / B. Essen // *Ann N.Y. Acad. Sci.* – 1977. – № 301. – P. 30–44.
162. *Exercise and Sport Sciences Reviews* / J.H. Wilmore, J.F. Keogh, eds. – New York : Academic Press, 1975. – P. 219–248.
163. Fatigue analysis of 100 meters all-out front crawl using surface EMG / I. Stirn, T. Jarm, V. Kapus, V. Strojnik // *Biomechanics and medicine in swimming XI* / P.L., Kjendlie, R.K. Stallman, J. Cabri (eds.). – Oslo : Norwegian school of sport sciences, 2010. – P. 168–170.
164. Ferrell, M.D. An analysis of the Bernoulli lift effect as a sive component of swimming strokes : masters thesis / M.D. Ferrell ; State University of New York at Cortland. – Cortland, 1991.
165. Fine wire electromyography analysis of muscles of the shoulder during swimming / G.W. Nuber, F.W. Jobe, J. Perry, D.R. Moynes, D. Antonelli // *American journal of sports medicine*. – 1986. – № 14. – P. 7–11.
166. Girl swimmers with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects / P.O. Astrand, B.O. Eriksson, I. Nylander, L. Engstrom, P. Karlberg, B. Saltin // *Acta Paediatrica, Suppl.* 1963. – № 147. – P. 43–70.
167. Groot, G. de. Fundamental mechanics applied to swimming: Technique and propelling efficiency / Groot G. de, Ingen Schenau G.J. van // *Swimming Science V* / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. – Ill. : Human kinetics books, 1988. – P. 17–30.
168. Hay, J. Aquantitative look at swimming biomechanics / J. Hay, A. Guimaraes // *Swimming Technique*. – 1983. – № 20. – P.11–17.
169. Hay, J.G. *The Biomechanics of sports techniques* / J.G. Hay. – Englewood

- Cliffs, N.J. : Prentice Hall, Inc., 1973.
170. Hay, J.G. The status of research on the biomechanics of swimming / J.G. Hay // *Swimming Science V* / Ungerechts B.E., Wilke K., Reischle K., eds. – Champaign, Ill. : Human kinetics books, 1988. – P. 3–14.
171. Hinrichs, R. Biomechanics of butterfly / R. Hinrichs // *ASCA World Clinic Yearbook*, edited by T. Johnston, J. Woolger, and D. Scheider. – Fort Lauderdale, F.L.: American swimming coaches association, 1986. – P. 94.
172. Holmer, I. Efficiency of breaststroke and freestyle swimming / I. Holmer // *Swimming II* / Clarys J.P., Lewillie L., eds. – Baltimore : University park press, 1975. – P. 130–136.
173. Holmer, I. Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles / I. Holmer // *European J. Applied Physiology*. – 1974. – № 33. – P. 105–118.
174. Holmer, I. Oxygen uptake during swimming in man / I. Holmer // *J. Appl Physiol*. – 1972. – № 33. – P. 502–509.
175. Holmer, I. Physiology of swimming man / I. Holmer // *Acta Physiol Scand* suppl. – 1974. – № 407. – P. 1–55.
176. Holt, L.E. Swimming velocity with and without lift forces : Unpublished paper / L.E. Holt, J.B. Holt ; Sports Science Laboratory, Dalhousie University, Dalhousie, Canada // *Forces in swimming - Current status* / *Swimming coaching science bulletin* / B. Rushall, E.J. Sprigings, L.E. Holt, and R.R. Francis. – 1994. – № 2 (4). – P. 1–24.
177. Hydrodynamic characteristics of competitive swimmers of different genders and performance levels / S.V. Kolmogorov, O.A. Rumyantseva, B.J. Gordon, J.M. Cappaert // *Journal of Applied Biomechanics*. – 1997. – T. 13, № 1. – C. 88–97.
178. Ikai, M. An electromyographic study of swimming / M. Ikai, K. Ishii, M. Miyashita // *Journal of physical education*. – 1964. – № 7. – P. 47–54.
179. Ito, S. Analysis of the optimal arm stroke in the ebackstroke / S. Ito // *The Book of Proceeding of the 1<sup>st</sup> International Scientific Conferece of Aquatic*

- Space Activities, T. Nomura, B.E. Ungerechts (eds.). – Tskuba : University of Tskuba, 2008. – P. 362–367.
180. Jansson, E. Muscle adaptation to extreme endurance training in man / E. Jansson, L. Kaiser // *Acta physiol. scand.* – 1977. – Vol. 100. – P. 315–324.
181. Karpovich, P. Swimming speed analyzed / P. Karpovich // *Scientific American.* – 1930. – March. – P. 234–235.
182. Karpovich, P. Water resistance in swimming / P. Karpovich // *Research Quarterly.* – 1933. – V. 4. – P. 21–28.
183. Karpovich, P.V. Energy expenditure in swimming / P.V. Karpovich, N. Millman // *Am. journal physiol.* – 1944. – № 142. – P. 140–144.
184. Karpovich, P.V. Mechanical work and efficiency in swimming crawl and back strokes / P.V. Karpovich, K. Pestrecov // *Arbeits physiologie.* – 1938 / 39. – № 10. – P. 504–514.
185. Kerner, O. Spinal motoneurons and the muscle fibers: mechanisms and longterm consequences of common activation patterns / O. Kerner // *The segmental motor system* / M. Binder, L.M. Mendel (eds.). – New York ; Oxford : Oxford University Press, 1990. – P. 36–57.
186. Keskinen, K.L. The stroking characteristics in four different exercises in freestyle swimming / K.L. Keskinen, P.V. Komi // *Biomechanics XI-B* / G. de Groot, P.A. Hollander, P. Huijing & G. van Ingen Schenau (eds.). – Amsterdam : Free University Press, 1988. – P. 839–843.
187. Kinematical changes in swimming front crawl and breaststroke with the Aqua Trainer(R) snorkel / T.M. Barbosa, A.J. Silva, A.M. Reis, M.J. Costa, N. Garrido, F.P. Barbosa, V.M. Reis // *European Journal of Applied Physiology.* – 2010. – № 109. – P.1155–1162.
188. Kolmogorov, S. Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity / S. Kolmogorov, O. Dyplisheva // *Journal of biomechanics.* – 1992. – Vol. 23. – P. 311–318.
189. Kolmogorov, S. Biomechanics of a set unstationary active motion of

- biological objects in water environment: from concepts to technologies / S. Kolmogorov, S. Lyapin // Proceedings of VIII Conference Biomechanics and Medicine in Swimming / K. Keskinen, P. Komi, P. Hollander (eds.). – Jyvaskyla, Gummerus Printing, 1999. – P. 119–124.
190. Letzelter, H. Stroke length and stroke frequency variations in men's and women's 100 m freestyle swimming / H. Letzelter, W. Freitag // Biomechanics and Medicine in Swimming / Hollander A.P., Huijing P.A., de Groot G., editors. – Illinois : Human Kinetics Publishers, 1983. – P. 315–322.
191. Lewillie, L. Muscular activity in swimming / L. Lewillie // Biomechanics III. – Basel : Karger, 1973. – P. 440–445.
192. Lighthill, M.J. Mathematical body fluid dynamics / M.J. Lighthill Philadelphia : Society for Industrial and Applied Mathematics, 1975. – 281 p.
193. Liljestrand, G. Studienuber die physiologie des schwimmens / G. Liljestrand, N. Stenstrom // Skandinavisches archiv fur physiologie. – 1919. – № 39. – P. 1–63.
194. Magel, J.R. Comparison of the, physiologic response to varying intensities of submaximal work in tethered swimming and treadmill running / J.R. Magel // Journal sport med. – 1971. – № 11. – P. 203–212.
195. Magel, J.R. Maximum oxygen uptakes of college swimmers / J.R. Magel, J.A. Faulkner // Journal applied physiol. – 1967. – № 22. – P. 929–938.
196. Maglischo, E. Swimming faster / E. Maglischo. – Illinois : Human Kinetics Champaign, 2003.
197. Maglischo, E.W. A 3-dimensional cinematographical analysis of competitive swimming strokes / E.W. Maglischo // ASCA World Clinic Yearbook, edited by R.M. Ousley, 1-14. Fort Lauderdale. – F.L. : American Swimming Coaches Association, 1984.
198. Maglischo, E.W. Swimming fastest / E.W. Maglischo. – 3rd ed. – Champaign, Illinois : Human kinetics publishers, 2003. – 800 p.
199. Maglischo, E.W. Swimming faster / E.W. Maglischo. – Palo Alto : Mayfield Publishing Cy, 1982. – 472 p.

200. Maximal oxygen uptake during free, tethered, and flume swimming / A. Bonen, B.A. Wilson, M. Yarkony, A.N. Belcastro // *J. Appl Physiol.* – 1980. – № 48. – P. 232–235.
201. McArdle, W.D. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking / W.D. McArdle, R.M. Glaser, J.R. Magel // *Journal appl. physiol.* – 1971. – № 30. – P. 733–738.
202. Measurement of active drag forces during swimming / A.P. Hollander, G. de Groot, Ingen Schenau G.J. van, H.M. Toussaint, Best H. de, W. Peeters, A. Meulemans, A.W. Schreurs // *Journal sports sci.* – 1986. – № 4. – P. 21–30.
203. Miyashita, M. Water resistance in relation to body size / M. Miyashita, T. Tsunoda // *Swimming Medicine IV* / Eriksson B., Furberg B., eds. – Baltimore : University park press, 1978. – P. 395–401.
204. Montpetit, R.R. Energy expenditure during front crawl swimming: a comparison between males and females / R.R. Montpetit, G. Cazorla, J.M. Lavoie // *Swimming Science V* / Ungerechts B.E., Reischle K., Wilke K., eds. – Champaign, Ill. : Human kinetics books, 1988. – P. 229–235.
205. Moritani, T. Time course of adaptations during strength and power training / T. Moritani // *Strength and power in sport.* – Blackwell Sci. Publ., 1992. – P. 266–278.
206. Noth, J. Motor units / J. Noth // *Strength and power in sport.* – Oxford : Blackwell sci. publ., 1992. – P. 21–28.
207. Payton, C.J. Estimating propulsive forces in swimming from 3-dimensional kinematic data / C.J. Payton, R.M. Bartlett // *Journal sport sci.* – 1995. – № 13. – P. 447–454.
208. Penman, K.A. Human straited muscle, ultrastructural changes accompanying increased strength without hypertrophy / K.A. Penman // *Res. Quart. Amer. Assoc. Hhh. phys. Educ.* – 1970. – Vol. 9. – P. 418.
209. Pette, D. Activity-induced fast to slow transitions in mammalian muscle / D. Pette // *Med. sci. sports exerc.* – 1984. – Vol. 16, № 6. – P. 517–528.
210. Plagenhoff, S. Patterns of human motion / S. Plagenhoff. – N.J. : Prentice-

- Hall, 1971.
211. Prampero, P.E. The energy cost of human locomotion on land and in water / P.E. Prampero // *Int. journal sports med.* – 1986. – № 7. – P. 55–57.
  212. Propelling efficiency of front crawl swimming / H.M. Toussaint, A. Beelen, A. Rodenburg, A.J. Sargeant, G. de Groot, A.P. Hollander, G.J. van. Ingen Schenau // *Journal of applied physiology.* – 1988. – № 65. – P. 2506–2512.
  213. Psycharakis, S.G. Bodyroll in swimming: areview / S.G. Psycharakis, R.H. Sanders // *Journal of sports science.* – 2010. – № 28. – P. 229–236.
  214. Quantitative analysis of the front crawl in men and women / D.R. Pendergast, P.E. di Prampero, A.B. Craig, D.R. Wilson, D.W. Rennie // *Journal applied physiol.* – 1977. – № 43. – P. 475–479.
  215. Quantitative motorunit potencial analysis / E. Stalber, S. Nandedkar, D. Sanders, B. Falck // *Journal of clinical neurophysiology.* – 1996. – № 13. – P. 401–422.
  216. Rackham, G.W. An analysis of arm propulsion in swimming / G.W. Rackham // *Swimming II* / Clarys J.P., Lewillie L., eds. – Baltimore : University Park Press, 1975. – P. 174–179.
  217. Reischle, K. A kinematic investigation of movement patterns in swimming with photo-optical methods / K. Reischle // *Swimming III* / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. – Baltimore : University park press, 1979. – P. 127–136.
  218. Relationships between energy cost, swimming velocity and speed fluctuation in competitive swimming strokes / T.M. Barbosa, F. Lima, A. Portela, D. Novais, L. Machado, P. Colago, P. Goncalves, R.J. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // *Biomechanics and medicine in swimming Portuguese journal of sport science* / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (Eds.). – 2006. – P. 192–194.
  219. Rennie, D.W. Energetics of swimming man / D.W. Rennie, D.R. Pendergast, P.E. di. Prampero // *Swimming II* / Clarys J.P., Lewillie L., eds. – Baltimore : University park press, 1975. – P. 97–104.
  220. Reymond, Du Bua Arch. Anatomy and physiology / Du Bua Arch Reymond.

– 1905. – V. 22. – 252 s.

221. Roberts, J.M. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity / J.M. Roberts, K. Wilson // *Br. journal sports med.* – 1999. – № 33 (4). – P. 261–263.
222. Sale, D.G. Neural adaption to strength training / D.G. Sale // *Strength and power in sport* / P.V. Komi (ed.). – Oxford : Blackwell, 1992. – P. 249–265.
223. Sanchez, J. Stroke in dex values according to level, gender, swimming style and event race distance / J. Sanchez, R. Arellano // *Proceedings of the XXth International Symposium in biomechanics of sport swimming* / K. Gianikellis (ed.). – Caceres : Universidadde Extremadura, 2002. – P. 56–59.
224. Schleihauf, R.E. A biomechanical analysis of freestyle / R.E. Schleihauf // *Swimming Technique.* – 1974. – № 11. – P. 89–96.
225. Schleihauf, R.E. Three-dimensional analysis of swimming propulsion in the sprint front crawlstroke / R.E. Schleihauf, L. Gray, J. De Rose // *Biomechanics and medicine in swimming* / Hollander A.P., Huijing P.A., Groot G. de, eds. – Champaign, Ill. : Human Kinetics Publishers, 1983. – P. 173–184.
226. Stroke frequency strategies of international and national swimmers in100-m races / P.L. Kjendlie, R. Haljand, O. Fjortoft, R.K. Stallman // *Biomechanics and medicine in swimming X* / J.P. Vilas-Boas, F. Alves, A. Marques (eds.). – Porto : Portuguese journal of sport science, 2006. – P. 52–54.
227. Svec, O. Biofeedback for pulling efficiency / O. Svec // *Swimming Technique.* – 1982. – № 19. – P. 38–46.
228. The determination of drag in front crawl swimming / A.P. Hollander, J.P. Troup, R.E. Schleihauf, H.M. Toussaint // *Journal Biomechanics* in press. – P. 32.
229. The evolution of swimming science research: content analysis of the “biomechanics and medicine in swimming” procee dings books from1971 to 2006 / T.M. Barbosa, E. Pinto, A.M. Cruz, D.A. Marinho, A.J. Silva, V.M. Reis, M.J. Costa, T.M. Queiros // *Biomechanics and medicine in swimming*

- XI / P.L. Kjendlie, R.K. Stallman, J. Cabri (eds.). – 2010. – P. 312–314.
230. The mechanical efficiency of front crawl swimming / H.M. Toussaint, W. Knops, G. de Groot, A.P. Hollander // *Med sci sports exerc.* – 1990. – № 22. – P. 402–408.
231. The normal and the painful shoulders during the breaststroke. Electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles / P.A. Ruwe, M. Pink, F.W. Jobe, J. Perry, M.L. Scovazzo // *American journal of sports medicine.* – 1994. – № 22. – P. 789–796.
232. The normal shoulder during freestyle swimming. An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles / M. Pink, J. Perry, A. Browne, M.L. Scovazzo, J. Kerrigan // *American journal of Sports Medicine.* – 1991. – № 19. – P. 569–576.
233. 13<sup>th</sup> FINA World Championship finals stroke kinematics and race times according to performance, gender and event / S. Jesus, M.J. Costa, D.A. Marinho, N.D. Garrido, A.J. Silva, T.M. Barbosa // *Proceedings of the International Symposium in Biomechanics of sport* / J.P. Vilas-Boas, & A. Veloso, (Eds.), *Portuguese Journal of Sport Science.* – 2010.
234. Thomas, C.K. Human motor unit recruitment during isometric contractions and repeated dynamic movements / C.K. Thomas, B.H. Ross, B. Calancie // *Journal neurophysiol.* – 1987. – Vol. 57. – P. 311–324.
235. Total resistance in water and its relation to body form / J.P. Clarys, J. Jiskoot, H. Rijken, P.J. Brouwer // *Biomechanics IV* / Nelson R.C., Morehouse C.A., eds. – Baltimore : University Park Press, 1974. – P. 187–196.
236. Toussaint, H.M. Effect of propelling surface size on the mechanics and energetics of front crawl swimming / H.M. Toussaint, T. Janssen, M. Kluft // *J. Biomech.* – 1991. – № 24. – P. 205–211.
237. Ungerechts, B.E. Optimizing propulsion in swimming by rotation of the hands / B.E. Ungerechts // *Swimming III* / Terauds J., Bedingfield E.W., eds. – Baltimore : University Park Press, 1979. – P. 55–61.
238. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming



- competition / A. Craig, P. Skehan, J. Pawelczyk, W. Boomer // *Medicine and Science Sports Exercise*. – 1985. – № 17. – P. 625–634.
239. Videogrametrically and accelorimetrically assessment in tra-cyclic variations of the velocity in breaststroke / F. Capitaio, A.B. Lima, P. Goncalves, P. Morougo, M. Silva, R. Fernandes, J.P. Vilas-Boas // *Biomechanics and medicine in swimming X Portuguese journal of sport science* / J.P. Vilas-Boas J.P., F. Alves F. & A. Marques (eds.). – 2006. – P. 212–214.
240. Vilas-Boas, J.P. Biophysical analysis of the 200m front crawl swimming: a case study / J.P. Vilas-Boas, R.J. Fernandes // *Biomechanics and medicine in swimming XI* / P.L., Kjendlie, R.K. Stallman & J. Cabri (eds.). – Oslo : Norwegian school of sport sciences, 2010. – P. 79–81.
241. Wilmore, J.H. *Physiology of sport and exercise* / J.H. Wilmore, D.L. Costill. – Champaign, Illinois : Human kinetics, 2004. – 726 p.
242. Wrist stabilization and forearm muscle coactivation during freestyle swimming / V. Caty, Y.A. Aujouannet, F. Hintzy, M. Bonifazi, J.P. Clarys, A.H. Rouard // *Journal of electromyography and kinesiology*. – 2007. – № 17. – P. 285–291.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акты внедрения

#### А К Т

внедрения результатов научного исследования в практику  
г. Санкт-Петербург

6 октября 2017г.

Мы, нижеподписавшиеся, профессор кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург», доктор педагогических наук, профессор Крылов Андрей Иванович и аспирант кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург», Виноградов Евгений Олегович, с одной стороны, а также проректор по учебно-воспитательной работе ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург», кандидат психологических наук, доцент Петров Сергей Иванович, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что на основании научно-исследовательской работы Виноградова Е.О. в 2016-2017 учебном году содержание дисциплины «Инновационные технологии в избранном виде спорта высших достижений» направления подготовки 49.04.01 - «Физическая культура» было дополнено следующим теоретическим материалом:

Ф.И.О.	Наименование внедрения	Эффект от внедрения
Виноградов Евгений Олегович	Лекционный курс «Методы срочного контроля и инновационные подходы к анализу технической подготовки пловцов-кролистов высокого класса»	Повышение уровня научно-методической компетентности обучающихся по направлению подготовки 49.04.01 - «Физическая культура» профиля «Подготовка высококвалифицированных спортсменов в избранном виде спорта» кафедра теории и методики плавания
Крылов Андрей Иванович		

Представители кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург» :

Профессор кафедры теории и методики плавания, д.п.н., профессор

А.И. Крылов

Аспирант кафедры теории и методики плавания

Е.О. Виноградов

**Почтовый адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д.38  
Тел/факс (812) 714-32-18 Сайт: <http://www.lesgaft.spb.ru>**

Представители ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург» :

Проректор по учебно-воспитательной работе, к.псих.н., доцент

С.И. Петров

**Почтовый адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д.35  
Тел/факс (812) 714-43-90 Сайт: <http://www.lesgaft.spb.ru>**

## ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

### А К Т

внедрения результатов научного исследования в практику

г.Санкт-Петербург

13 апреля 2017г.

Мы, нижеподписавшиеся, профессор кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВПО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург», доктор педагогических наук Крылов Андрей Иванович, аспирант кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВПО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург», Виноградов Евгений Олегович, с одной стороны, а также директор Санкт-Петербургского СДЮСШОР «Дельфин», Мастер спорта Томчук Николай Андреевич, с другой стороны, составили настоящий акт о том, что на основании научно-исследовательской работы Виноградова Е.О. и Крылова А.И. в учебный процесс СДЮСШОР «Дельфин» 2017г. были внедрены следующие предложения и рекомендации:

Ф.И.О.	Наименование внедрения	Эффект от внедрения
Крылов Андрей Иванович Виноградов Евгений Олегович	Последовательность и особенности освоения технических элементов на основе учета индивидуальных динамических характеристик гребка и внутрицикловых колебаний скорости	Повышение эффективности учебно-тренировочного процесса и результативности соревновательной деятельности пловцов.

Представители ФГБОУ ВПО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург»:

Профессор кафедрой теории и методики плавания, д.п.н., профессор

А.И.Крылов

Аспирант кафедры теории и методики плавания

Е.О.Виноградов

**Почтовый адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д.38.  
Тел/факс (812) 714-32-18**

**Сайт: <http://www.lesgaft.spb.ru>**

Представитель СПб СДЮСШОР «Дельфин»:

Директор СПб СДЮСШОР «Дельфин»  
Мастер спорта

Н.А. Томчук

**Почтовый адрес: 190121; г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д.38;  
СПб СДЮСШОР «Дельфин»;**

**Телефон: 714-41-40;**

**E-mail: [delfinspb@bk.ru](mailto:delfinspb@bk.ru)**

# ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

## А К Т

внедрения результатов научного исследования в практику

г.Санкт-Петербург

12 ноября 2018г.

Мы, нижеподписавшиеся, аспирант кафедры теории и методики плавания ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург», Виноградов Евгений Олегович, с одной стороны, а также представитель некоммерческого партнерства Санкт-петербургский клуб мастеров плавания «Невские звезды» Скоробогатов Сергей Петрович с другой стороны, составили настоящий акт о том, что на основании научно-исследовательской работы Виноградова Е.О. в тренировочный процесс клуба «Невские звезды» в 2018г. были внедрены следующие предложения и рекомендации:

Ф.И.О.	Наименование внедрения	Эффект от внедрения
Виноградов Евгений Олегович	Изучение индивидуальных динамических характеристик на основе внутрицикловой скорости пловцов-спиннистов в категории «Мастерс» .	Повышение эффективности технической подготовки, а также создание дополнительного комплексного анализа и оценки техники плавания пловцов.

Представители ФГБОУ ВО «НГУ им. П.Ф.Лесгафта, Санкт-Петербург»:

Аспирант кафедры теории и методики плавания



Е.О.Виноградов

Почтовый адрес: 190121 г. Санкт-Петербург, ул. Декабристов, д.38.  
Тел/факс (812) 714-32-18 Сайт: <http://www.lesgaft.spb.ru>

Представитель некоммерческого партнерства Санкт-петербургский клуб мастеров плавания «Невские звезды»:

Председатель клуба «Невские звезды»



С.П. Скоробогатов

Почтовый адрес: 190031; г. Санкт-Петербург,  
Спаский пер. 1/11 лит А., помещение 21Н;  
некоммерческого партнерства Санкт-петербургский клуб мастеров плавания  
«Невские звезды»:  
Телефон: 89219503007; E-mail: [nastav2@mail.ru](mailto:nastav2@mail.ru)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Показатели исследуемых внутрицикловых характеристик техники плавания,  
полученных по результатам компьютерного видеонализа одного из  
проплывов

---

STATS	d,	v,	a,	v <sup>2</sup> /2
avg	0.0387	1.1585	-0.0215	1.3581
stddev	0.0042	0.1262	0.9076	0.2932
min	0.0301	0.9052	-1.5962	0.8193
max	0.0465	1.3728	1.5697	1.8845
spread	0.0164	0.4676	3.1659	1.0652

---

Cycle from	0.600
Cycle to	2.435
Distance Per Stroke, m	= 2.0879
Stroke Rate per minute	= 32.7
Count of a(+)	29 of 54 = 53.7%
stddev(a)/avg(v) =	0.9076/1.1585 = 0.7834
avg(v)/stddev(a) =	1.1585/0.9076 = 1.2765
max <sup>2</sup> /max <sup>2</sup> -min <sup>2</sup> =	1.3728,0.9052 = 1.7692
avg <sup>2</sup> /max <sup>2</sup> -min <sup>2</sup> =	1.1585,0.9052 = 1.2601
Sum( a )	= avg( a ) * n = 42.43 m/s <sup>2</sup>
Work	= Sum( a ) * DPS * 1kg = 88.59 J[oule]
Power	= W / T = 48.28 W[att]
Nata * 1000,000 =	DPS <sup>2</sup> /Sum( a ) <sup>3</sup> = 57.06 N[at]
Time of cycle	= 1.84 sec.
Distance per cycle	= 2.09 m
Pace per 50	= 43.94 sec.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица – 10 Базовый комплекс упражнений на воде с вариантами выполнения и дозировкой

Упражнение	Вариации	Дозировка
1. Проплывание прямыми руками с акцентом на захват и переходов в фазу "отталкивания"		4x50м 10x25м R 30'
2. Отведение руками с максимальной скоростью по направлению движения всторну-вниз		200м 4x75м R 20'
3. Винт руками стилем "брасс"	а) с поднятой головой б) опущенной головой и с акцентом на максимальный захват руками вначале гребка	8x50м 8x25м R 30'
4. Рывок двумя руками по направлению движения рук вниз-назад в движения на груди и сочетании ноги кроль		300м 3x100м R 30'
5. Отведение кистями рук на боку и переход в гребок, акцентируя внимание на чувство опоры ладонью во время отведения и перенос усилия в фазу "отталкивания"		400м 2x200м R 30'
6. Плавание с поднятой головой	а) в кулаках б) с выпрямленной ладонью в) одна рука в кулаке, другая рука с выпрямленной ладонью	12x25 4x50м R 30'
7. Плавание вперед ногами на спине	а) винт руками под себя б) винт кистями рук под тазом, по направлению движения головой вперед в) винт кистями и предплечьем "8-ка" за головой с акцентом на чувство опоры.	400м 2x200м R 20'
8. Поочередное плавание правой и левой рукой с опорой на подвижный предмет	а) поочередное выполнение гребка при одной руке в положении сверху на доске б) поочередное выполнение гребка при одной руке в положении сверху на колобашке в) поочередное выполнение гребка при одной руки сверху над водой	2x300м 4x100м R 45'
9. Поочередное плавание на руках: правой и левой рукой с предметом в ногах	а) колабашка между голеностопом б) колабашка между колен в) колабашка	400м 3x200м R 30'

	между бёдер в) с резинкой между стоп г) с резинкой между колен	
10. Поочередное плавание правой и левой рукой на удержание лопатки во время подводной части гребка		3x150м 5x100м R 30'
11. Плавание на уменьшение количества циклов	а) в кулаках б) с выпрямленной ладонью	8x50м 4x100м 2x200м 400м R 30' R 20'
12. Плавание одной рукой с предметом в ногах	а) гребок прямой рукой б) S-образной гребок в) гребок с отведением в сторону в фазе "отталкивания"	300м 2x200м R 30'
13. Плавание кролем в координации с поворотом корпуса с последующим выполнением скольжения на боку		4x100м 4x50м R 30'
14. Поочередное плавание с переворотом корпуса на спину в конечной фазе отталкивания	а) с гребущей правой руки по направлению движения поворота влево б) с гребущей левой руки по направлению движения поворота вправо	4x75м 3x100м R 30'
15. Координационное плавание в сочетаниях	а) ноги "дельфин" и руки "кроль" б) руки "дельфин" и ноги "кроль" в) ноги "брасс" и руки "кроль"	12x25м 4x50м R 30' R 40'
16. Координационное плавание на смену движений	а) 4 цикла движений прямой рукой + 4 цикла движений с S-образной струкурой б) 4 гребка с поднятой головой + 4 гребка с опущенной головой в) 3 цикла движений на максимально длинный гребок + 3 цикла движений на максимально скоростной гребок	200м 300м R 30'

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица 11 - Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплывании максимальным темпом до и после эксперимента (n-10).

Показатели	n	$\bar{x} \pm \overline{Sx}$	t – критерий значимости	P-Value	Статистический вывод
V (avg)	10	0,03±0,01	t = 1,84	0,047	P<0,05
S (stroke)	10	0,06±0,02	t = 2,26	0,023	P<0,05
Sum IaI	10	-1,7±0,8	t = - 2,05	0,033	P<0,05
IDE	10	15,6±5,2	t = 3,01	0,006	P<0,05

Примечание:

$\bar{x}$ - среднее арифметическое

$\overline{Sx}$ -ошибка среднего

n – объем выборки

t-test – t критерий Стьюдента



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица 12 - Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплыве темпом на 1500м до и после эксперимента (n-10).

Показатели	n	$\bar{x} \mp \overline{Sx}$	t – критерий значимости	P-Value	Статистический вывод
V (avg)	10	0,003±0,033	t = 0,10	0,457	P>0,05
S (stroke)	10	0,10±0,08	t = 1,32	0,108	P>0,05
Sum IaI	10	-8,9±2,5	t = - 3,49	0,0289	P<0,05
IDE	10	29,1±4,03	t = 7,23	0,00001	P<0,05

Примечание:

$\bar{x}$ - среднее арифметическое

$\overline{Sx}$ -ошибка среднего

n - объем выборки

t-test - t критерий Стьюдента

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица 13 - Динамические характеристики пловцов-кролистов при проплывании со скоростью на 200м. до и после эксперимента (n =10).

Показатели	n	$\bar{x} \mp \overline{Sx}$	t – критерий значимости	P-Value	Статистический вывод
V (avg)	10	0,01±0,01	t = 1,00	0,165	P>0,05
S (stroke)	10	0,002±0,027	t = 0,10	0,462	P>0,05
Sum IaI	10	-5,69±1,57	t = - 3,62	0,0023	P<0,05
IDE	10	183,6±3,6	t = 5,07	0,0002	P<0,05

Примечание:

$\bar{x}$ - среднее арифметическое

$\overline{Sx}$ -ошибка среднего

n - объем выборки

t-test - t критерий Стьюдента