

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Спортивно-технический факультет  
Кафедра «Спортивная инженерия»


СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 В.Е. Васюк  
18.06. 2015 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 И.В. Бельский  
18.06. 2015 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СПОРТИВНОЙ  
ТЕХНИКИ**

для специальностей:

1-60 02 01 «Техническое обеспечение спортивных технологий»

1-60 02 02 «Проектирование и производство спортивной техники»

Составители: Зайцев И.Ф.,

старший преподаватель кафедры «Спортивная инженерия»

Рассмотрено и утверждено

на заседании совета спортивно-технического факультета

18.06.2015 г., протокол № 6

Минск 2015

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	<b>5</b>
<b>Тема 1. Технические средства в физическом воспитании и спортивной тренировке</b> .....	<b>7</b>
1.1 Совокупность технологий управления подготовкой спортсменов.....	7
1.2 Технические средства спортивной тренировки.....	9
1.3 Взаимосвязь технических средств с формой и содержанием физических упражнений.....	10
Вопросы для самопроверки.....	13
Литература.....	13
<b>Тема 2. Основные свойства спортивной техники</b> .....	<b>14</b>
2.1 Физическое упражнение и его окружающая среда.....	14
2.2. Основные свойства спортивной техники.....	15
2.3 Конструктивные особенности спортивной техники в свете решения задач специальной физической подготовки спортсменов.....	19
Вопросы для самопроверки.....	27
Литература.....	28
<b>Тема 3. Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена</b> .....	<b>29</b>
3.1 Современная модель мышцы двигательного аппарата спортсмена.....	29
3.2 Разновидности и механика мышечных сокращений.....	31
3.3 Основной закон мышечной динамики.....	32
3.4 Решение уравнения Закона Хилла.....	37
Вопросы для самопроверки.....	39
Литература.....	40
<b>Тема 4. Организация и управление двигательной деятельностью спортсмена</b> .....	<b>41</b>
4.1 Особенности двигательных действий спортсменов и типы частных действий в спорте.....	41
4.2 Двигательная система спортсмена – как система организации и управления движениями.....	47
4.3 Аfferентная информация при организации и управлении двигательной деятельностью спортсмена.....	49
Вопросы для самопроверки.....	52

Литература.....	53
<b>Тема 5. Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы.....</b>	<b>54</b>
5.1 Биометрическая входная информация, основанная на антропометрических показателях спортсмена.....	54
5.2 Входная информация, основанная на пространственных показателях двигательных действий спортсмена.....	57
5.3 Входная информация, основанная на оценке временных показателей двигательных действий спортсмена.....	63
5.4 Входная информация, основанная на оценке динамических характеристиках двигательных действий спортсмена.....	66
5.5 Спектральные составляющие силовых проявлений в двигательных действиях спортсмена.....	70
5.6 Входная информация, основанная на биоэлектрических и биометрических сигналах, характеризующих функциональное состояние спортсмена.....	75
Вопросы для самопроверки.....	81
Литература.....	83
<b>Тема 6. Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека.....</b>	<b>84</b>
6.1 Особенности проявления двигательных возможностей человека.....	84
6.2 Основы создания искусственной управляющей среды.....	86
6.3 Особенности взаимодействия человека с различными устройствами и оборудованием.....	92
Вопросы для самопроверки.....	95
Литература.....	95
<b>Тема 7. Функциональные элементы технических устройств.....</b>	<b>96</b>
7.1 Элементы взаимодействия спортсмена с тренажером.....	96
7.2 Исполнительные элементы спортивной техники.....	99
7.3 Первичные измерительные преобразователи (датчики).....	103
7.4 Датчики для измерения параметров движений при перемещениях на малые расстояния.....	110
7.5 Датчики для измерения параметров движений при перемещениях на значительные расстояния.....	112
7.6 Датчики для измерения сосредоточенных сил.....	113
7.7 Датчики для измерения давлений.....	115
7.8 Преобразователи видов движений.....	118
7.9 Структурные схемы спортивных тренажеров и тренировочных устройств.....	120
Вопросы для самопроверки.....	127
Литература.....	127

<b>Тема 8. Технические средства как элементы систем автоматического регулирования.....</b>	<b>129</b>
8.1 Автоматическое регулирование, как основа функционирования применения тренажеров в спортивной тренировке.....	129
8.2 Элементарные звенья систем регулирования в спортивных тренажерах.....	135
8.3 Соединения звеньев систем регулирования в спортивных тренажерах.....	145
8.4 Колебательные системы и электромеханические аналоги.....	150
8.5 Представление электромеханических элементов конструкции спортивных тренажеров в виде последовательного соединения динамических звеньев.....	153
Вопросы для самопроверки.....	156
Литература.....	157
<b>Тема 9. Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и оздоровительной физической культуре.....</b>	<b>159</b>
9.1. Предпосылки применения устройств для стимуляции биологической активности человека.....	159
9.2. Конструктивные особенности устройств для колебательной активации мышц.....	160
9.3. Устройства с колебательной активацией мышц, участвующие в перемещении предметов в пространстве.....	163
9.4. Устройства, основанные на эффекте вращающегося тела со смещенными центрами вращения и массы.....	164
9.5. Эффекты, возникающие при выполнении физических упражнений с колебательной активацией мышц.....	166
Вопросы для самопроверки.....	173
Литература.....	173
<b>Примеры тестовых заданий.....</b>	<b>175</b>
<b>ПРОГРАММА.....</b>	<b>199</b>

## Предисловие

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по дисциплине «Теоретические основы построения спортивной техники» предназначен для реализации требований программы и образовательных стандартов первой ступени высшего образования для студентов специальностей 1-60 02 01 «Техническое обеспечение спортивных технологий» и 1-60 02 02 «Проектирование и производство спортивной техники». ЭУМК составлен в соответствии с рекомендациями и требованиями Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26.07.11 № 167.

Представленный ЭУМК подготовлен с целью научно – методического обеспечения процесса подготовки студентов по дисциплине «Теоретические основы построения спортивной техники».

Основными задачами настоящего ЭУМК является формирование у студентов системы знаний, умений и навыков, направленных на повышение уровня фундаментальной подготовки специалистов, способных в ходе профессиональной деятельности осуществлять инженерное обеспечение конструирования технических средств для спортивной тренировки и диагностики состояний подготовленности спортсменов.

В Электронном учебно-методическом комплексе представлен материал, способствующий пониманию совокупности свойств физических упражнений, формируемых на основе использования представлений, позволяющих свести воедино задачи спортивной тренировки с теоретическими основами проектирования спортивной техники. Приобретаемые при усвоении дисциплины знания и умения, включают в себя фундаментальные и прикладные разделы из многих наук (физики, биомеханики, математики и т.д.).

Структура ЭУМК включает в себя теоретический, практический и вспомогательный блоки, блок контроля знаний.

Теоретический раздел ЭУМК представлен учебно-программным блоком, который включает сведения, раскрывающие учебно-тематический план и содержание учебного материала в объеме, установленном учебными программами обеих специальностей. В содержательной части комплекса последовательно раскрываются вопросы, отражающие содержание следующих тем: «Технические средства в физическом воспитании и спортивной тренировке»; «Основные свойства спортивной техники»;

«Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена»; «Организация и управление двигательной деятельностью спортсмена»; «Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы»; «Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека»; «Функциональные элементы технических устройств»; «Технические средства как элементы систем автоматического регулирования»; «Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и оздоровительной физической культуре».

Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения практических занятий.

Раздел контроля знаний наполнен материалом, позволяющим определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. В настоящем ЭУМК приводятся также критерии оценивания и тестирования студентов в области теоретических знаний и практических умений. Тестовые задания способствуют закреплению базовых понятий научно-ориентированной деятельности студентов.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит элементы учебно-программной документации образовательной программы высшего образования, перечень учебных изданий. В списке рекомендуемой и используемой литературы, представлены работы отечественных и зарубежных специалистов, использование которых позволит студентам более полно усвоить разделы изучаемой дисциплины.

Использование материалов ЭУМК в образовательном процессе позволит будущим специалистам в области спортивного инжиниринга приобрести необходимые компетенции по теоретическим основам построения спортивной техники.

## Тема 1. Технические средства в физическом воспитании и спортивной тренировке

### 1.1 Совокупность технологий управления подготовкой спортсменов

На протяжении всего человеческого развития, накопление и систематизация большого объема экспериментальных данных и результатов практической работы в различных областях знаний приводили к прорывам в качественно новые уровни осмысления происходящих процессов и созданию новых технических средств, способствующих познанию окружающего мира и реализации потенциальных возможностей человека.

Современный спорт не стоит в стороне от этих тенденций. Более того, именно в спорте, наиболее ярко проявляется стремление к разработке и внедрению новых эффективных технологий. Это обусловлено многими объективными причинами, главной из которых является неудержимая экспансия спорта как социального явления. Престижность этого вида деятельности человека неудержимо возрастает.

Спорт высших достижений характеризуется целым рядом специфических особенностей, среди которых в качестве главенствующих можно выделить стремление человека к рекордному или абсолютно максимальному проявлению своих резервных возможностей, а так же особую систему состязаний, предъявляющих предельные требования к физическому и духовному потенциалу. Поэтому крайне необходимо раскрыть и реализовать предельные возможности человека и в то же время создать предпосылки для планирования методических путей превышения спортсменом достигнутых им пределов своих двигательных возможностей.

Решение таких важнейших, в стратегическом плане, задач осуществимо в настоящее время при помощи спортивной инженерии.

Объединение накопленного педагогического и инженерного опыта нашло свое проявление в технологиях спортивной тренировки, где эффективное управление состоянием спортсмена осуществимо, только при использовании современных технических средств.

В практике теории и методики спортивной тренировки сформировались следующие технологические процессы:

- технология оценки и контроля состояний готовности;
- технология принятия решений;
- технология планирования;
- технология обучения и тренировки.

Если технология, это совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, то в спортивной тренировке она реализуется через соответствующую систему управления

подготовкой спортсменов.

В обобщенном виде, вся совокупность обозначенных технологий в системе управления подготовкой спортсменов представлена на рисунке 1.1.

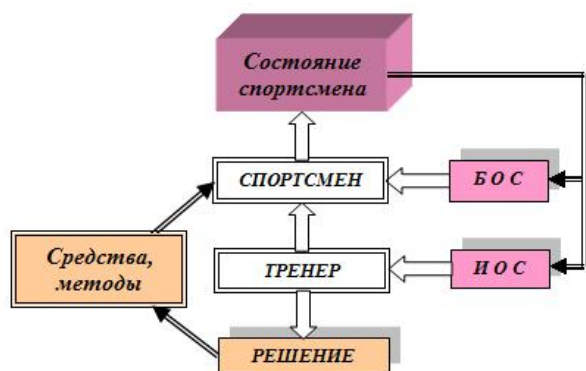


Рисунок 1.1. Система управления подготовкой спортсмена, где ИОС – информационная обратная связь; БОС – биологическая обратная связь

В двухконтурной системе управления непосредственным объектом управления является состояние спортсмена, выраженное совокупностью показателей характеризующих его спортивную подготовленность или готовность к соревнованиям. Тренер, как управляющее звено, своим решением о выборе требуемых средств и методов, управляет состоянием спортсмена через его биологические системы. Сам же спортсмен, в этой системе управления реализует себя в

качестве субъекта. Решение о выборе необходимых средств и методов спортивной тренировки принимается на основе данных о состоянии спортсмена, получаемых в нужное время по цепи информационной обратной связи (ИОС). Следует обратить особое внимание на то, что система управления с многоконтурной ИОС более надежная и помехоустойчивая в сравнении с одноконтурной.

Информация, получаемая по цепи ИОС может носить мгновенный, оперативный или поэтапный характер, в зависимости от тактики или стратегии в решении управленческих задач спортивной тренировки. То же самое относится и к системе биологической обратной связи (БОС).

Спортсмен, по цепи БОС в соответствующий момент времени получает данные о своем состоянии, анализирует их и посылает команды, дающие возможность функциональным и другим системам организма, более эффективно реагировать на тренировочные воздействия, предложенные тренером.

Сама же *Биологическая обратная связь* в своей сущности (англ. Biofeedback) представляет технологию, включающую в себя комплекс исследовательских, немедикоментозных, физиологических, профилактических и лечебных процедур, в ходе которых человеку посредством внешней цепи обратной связи, организованной преимущественно с помощью микропроцессорной или компьютерной техники, предъявляется информация о состоянии и изменении тех или иных собственных физиологических процессов. Используются зрительные, слуховые, тактильные и другие сигналы-стимулы, что позволяет развить навыки саморегуляции за счет тренировки и повышения лабильности регуляторных механизмов.



Согласно определению Американской Ассоциации Прикладной Психофизиологии и Биологической Обратной Связи (ААРВ), *Биологическая обратная связь* является нефармакологическим методом управления состоянием организма с использованием специальной аппаратуры для регистрации, усиления и «обратного возврата» пациенту физиологической информации. Основной задачей метода является обучение саморегуляции. Обратная связь облегчает процесс обучения физиологическому контролю так же, как процесс обучения любому искусству. Оборудование делает доступной для пациента информацию, в обычных условиях им не воспринимаемую.

Названные системы *ИОС* и *БОС* не следует отождествлять с *обратной связью*, или *обратимым режимом передачи в приборах и механизмах*. Для приборов и механизмов, это такой режим передачи, когда часть, или вся энергия передается от выходного звена системы к ее входному звену. Причем, такая обратная связь всегда имеет конкретное, как отрицательное, так и положительное значение с величиной не превышающей 1,0 или 100%. Задачей, при организации *обратимого режима передачи или обратной связи* в приборах и механизмах, является улучшение их технических характеристик, либо изменение характерных свойств.

К примеру, отрицательная обратная связь в электронном усилителе, уменьшая коэффициент усиления, расширяет полосу пропускания сигналов. В свою очередь положительная обратная связь, увеличивая коэффициент усиления, вводит электронный усилитель в режим самовозбуждения, заставляя его генерировать сигнал. В этом случае, происходит превращение электронного усилителя в генерирующее устройство.

В отличие от *обратной связи*, или *обратимого режима передачи*, когда их значение определяется конструктором, или особенностями эксплуатации, – *ИОС* и *БОС* основаны преимущественно на информации связанной с биологическими особенностями организма спортсмена и его двигательной системой. Тогда, если рассматривать тренера и спортсмена, как своеобразных операторов в системе «человек-машина», свойства *ИОС* и *БОС*, в определенных ситуациях, могут проявляться в неверной оценке полученных данных, и как результат, в неверном управленческом решении тренером или неадекватной реакции спортсмена на тренировочную нагрузку. Известно, что активная соревновательная деятельность и спортивная тренировка, зачастую создают для организма спортсмена стрессовую ситуацию, а это в свою очередь увеличивает влияние «человеческого фактора» на объективность данных поступающих по цепи *ИОС* или *БОС*.

## 1.2 Технические средства спортивной тренировки

Технические средства в спорте или *спортивная техника* – это устройства, системы, комплексы и аппаратура, применяемые для тренирующего воздействия на различные органы и системы организма

спортсмена, для обучения и совершенствования двигательных навыков, а также получения информации в процессе проведения тренировочных занятий с целью повышения их эффективности.

К *спортивной технике* относятся также и *технические средства диагностики и контроля в спорте*.

*Тренировочные устройства* – представляют собой средства, обеспечивающие выполнение спортивных упражнений с заданными усилиями и структурой движения без контролируемых взаимодействий с устройством;

*Тренажеры* (от англ. train – воспитывать, обучать, тренировать) – тренировочные устройства для обучения и совершенствования техники двигательных действий, развития физических способностей, совершенствования анализаторных функции организма. Благодаря информационной обратной связи, тренажеры более эффективны, чем тренировочные устройства.

Тренировочные устройства и тренажеры по своему воздействию на организм спортсмена могут быть *локальными, региональными или общими (глобальными)*. *Локальное* тренирующее воздействие оказывает влияние на отдельные мышечные группы, участвующие в точных корректирующих движениях. *Региональное* тренирующее воздействие распространяется на мышцы или группы мышц, отвечающие за отдельное законченное соревновательное действие, например бросок баскетбольного мяча в кольцо из положения стоя на месте. Примером *глобального* тренирующего воздействия является включенность всей нервно-мышечной системы и опорно-двигательного аппарата баскетболиста, при выполнении, например броска мяча в кольцо при отталкивании двумя ногами от опорной поверхности.

### **1.3 Взаимосвязь технических средств с формой и содержанием физических упражнений**

Функционирование системы «спортсмен-тренажер-среда» основано на выполнении спортсменом специальных физических упражнений и оценке тренером результатов этих действий. Таким образом, *физическое упражнение*, можно рассматривать не только как основное средство спортивной тренировки, но и как средство воздействия на спортсмена – важнейший элемент системы управления состоянием спортсмена.

В общем понятии, физическое упражнение это конкретное двигательное действие или совокупность определенных действий, направленных на решение задач спортивной тренировки. В системе спортивной тренировки, физическое упражнение целесообразнее рассматривать в виде тренировочного задания, имеющего соответствующую *направленность*.

Характеристика самого физического упражнения, в традиционном понимании, основывается на анализе его *формы и соответствующего*

*содержания.*

*Содержание* физического упражнения обусловлено действиями и процессами, возникающими в организме во время его выполнения, которые в своей совокупности определяют эффект воздействия данного упражнения на организм. Такие действия и процессы, протекающие в организме спортсмена, характеризуются метаболическими и психофизиологическими сдвигами, происходящими при выполнении специфических движений. По существу содержание физического упражнения показывает его внутреннюю структуру и характеризуется тем, как связаны воедино различные процессы функционирования организма во время выполняемого упражнения, как они соотносятся, взаимодействуют и согласуются друг с другом.

Особенности *содержания* физического упражнения определяют его *форму*, под которой имеют в виду структурные составляющие двигательного действия, обусловленные этим упражнением. Здесь, уже имеет место внешняя структура физического упражнения, характеризующаяся соотношением пространственно-временных и динамических параметров движения.

*Содержание и форма* физического упражнения взаимосвязаны, где содержание как более динамичная и определяющая сторона играет ведущую роль по отношению к форме. С другой стороны, и *форма* физического упражнения является определяющим фактором его *содержания*. Несовершенная или несоответствующая *форма* физического упражнения препятствует оптимальному проявлению функциональных и других психофизических возможностей и наоборот. В то же время совершенная форма физического упражнения позволяет наиболее эффективно использовать двигательные способности человека, выполняющего соответствующие физические упражнения. Таким образом, содержание и форма физического упражнения обусловлены не только абсолютной взаимосвязью, но и обоюдными противоречиями.

Если, при решении педагогических задач, особенно, направленного характера, взять за основу традиционное понимание физического упражнения через взаимосвязь его формы и содержания, то необходимо выяснить степень влияния технического средства на составляющие такого упражнения и их взаимосвязь.

Это осуществимо, если сопоставить между собой по содержанию и форме физическое упражнение без использования каких-либо тренировочных устройств или снарядов, – *упражнение, организованное на произвольных движениях* и физическое упражнение с использованием тренировочных устройств или снарядов – *упражнение, организованное на движениях при взаимодействиях с предметами внешней среды*.

Характер различий между такими физическими упражнениями, показан на рисунке 1.2.

Изображение А демонстрирует содержание и форму физического упражнения, организованного на произвольных движениях, выполняемых в

естественных условиях без каких-либо устройств или снарядов.

На изображении Б предметами внешней среды являются всевозможные тренировочные устройства и снаряды, с которыми взаимодействует спортсмен, выполняя заданное упражнение.

В сравнении между собой, эти два изображения показывают, что каждое из физических упражнений обладает взаимосвязанной формой и содержанием. Влияние формы физического упражнения на его содержание в таком случае определяется объемом и интенсивностью, при которых выполняются эти упражнения.

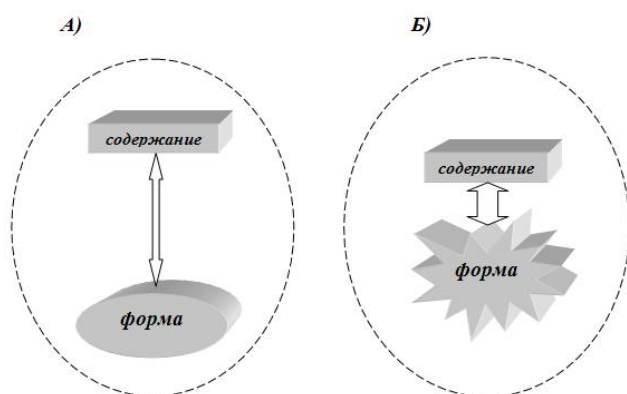


Рисунок 1.2 Содержание и форма физических упражнений, организованных на произвольных движениях (А) и на движениях, при взаимодействиях с предметами внешней среды (Б)

Особенно это характерно для упражнений показанных на изображении А, где их форма ограничена замкнутой кривой поверхностью. Фигуры отдалены друг от друга, а стрелка показывающая взаимосвязь содержания и формы вытянута и заужена, что иллюстрирует некоторую отдаленность содержания от формы.

В отличие от изображения А, ломанная, замкнутая поверхность, ограничивающая форму физического упражнения, показанного на изображении Б, подчеркивает многогранность формы такого упражнения, когда показатели объема и интенсивности регулируются изменением пространственных, временных и динамических параметров движения с помощью специальных технических средств. При такой многогранной форме физического упражнения его содержание становится более динамичным. Усиливается взаимосвязь между содержанием и формой, –сближаются фигуры и утолщается стрелка, показывающая взаимосвязь содержания и формы, также устраняются противоречия между содержанием и формой, вызванные возможным несовершенством одной из составляющих физического упражнения.

В рассмотренном случае физическое упражнение, как основное средство спортивной тренировки и неотъемлемый элемент тренировочного задания, становится объектом конструирования, а техническое средство, уже предлагается не вспомогательным в традиционном понимании, а как средство, создающее соответствующую (новую) форму физического упражнения с целью наполнения его требуемым содержанием.

## Вопросы для самопроверки

1. Что такое спортивная инженерия.
2. Технологические процессы спортивной тренировки.
3. Составляющие системы управления состоянием спортсмена.
4. Что такое информационная обратная связь.
5. Что такое биологическая обратная связь.
6. Что представляет собой обратная связь в приборах и механизмах.
7. Чем характеризуется объект управления состоянием спортсмена.
8. Характеристика тренировочного устройства.
9. Характеристика тренажера.
10. Характеристика физического упражнения.
11. Направленность физических упражнений.
12. Влияние технических средств на содержание и форму физических упражнений.
13. Воздействие тренировочных устройств на подготовленность спортсменов.

## Литература

1. Войнар, Ю. Теория спорта – методология программирования / Ю. Войнар, С.Д. Бойченко, В.А. Барташ – Мн.: Харвест, 2001. – 320 с.
2. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф. Крайнев – М.: Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.
3. Технологии в физической культуре и спорте: учебно-методическое пособие./ Под ред. А.Д. Скрипко, М.Б. Юспа. – Минск, 2001. – 123 с.
4. Юшкевич, Т.П. Тренажеры в спорте / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, А.А. Буланов – М.: Физкультура и спорт, 1989. - 320 с., ил.

## Тема 2. Основные свойства спортивной техники

### 2.1 Физическое упражнение и его окружающая среда

В спортивной инженерии физические упражнения и технические средства, используемые в тренировке нельзя рассматривать отдельно друг от друга. С привносимыми в тренировочный процесс техническими средствами возникает новая искусственная среда, в которой спортсмен реализует свои специфические двигательные действия.

Физическое упражнение может выполняться в условиях *естественной внешней среды* при отсутствии дополнительных воздействий, либо в *специально созданной искусственной внешней среде* (рисунок 2.1). В ней спортсмены и реализуют свои специфические двигательные способности, взаимодействуя с техническими средствами, обеспечивающими эффект спортивного совершенствования. В процессе тренировки в естественной внешней среде, физическое упражнение моделируется в специфических двигательных действиях приближенных к соревновательным, без взаимодействия с предметами внешней среды. В искусственной среде, выполняя физическое упражнение, спортсмен реализует свои двигательные возможности, используя различные технические устройства. Чтобы систематизировать педагогические и конструктивные особенности физических упражнений, выполняемых в *специально созданной искусственной внешней среде*, необходимо прежде всего, проанализировать их характерные свойства.

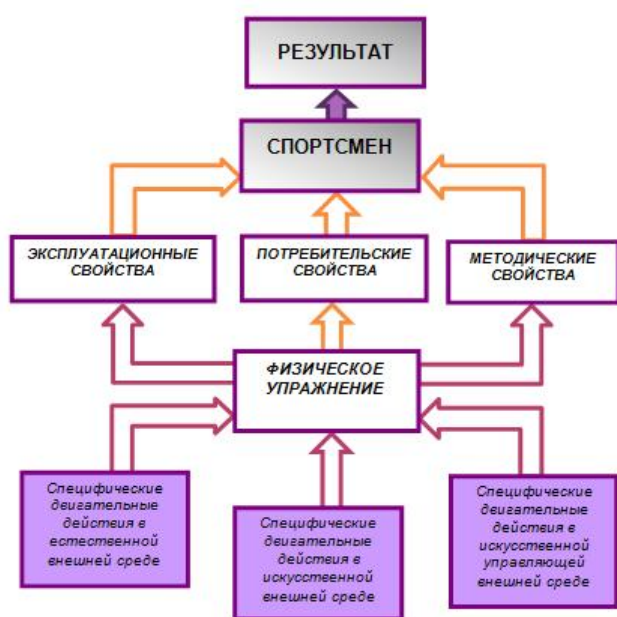


Рисунок 2.1 Основные свойства физических упражнений

Совокупность свойств физических упражнений, показанных на рисунке 2.1, представляет своеобразные технологические единицы, необходимые для получения желаемого тренировочного эффекта. Знание свойств физических упражнений для каждого случая реализации двигательных действий спортсмена, позволяют материализовать их в виде конкретного тренировочного задания, направленного на обучение и совершенствование двигательной деятельности спортсмена.

Известно, что любому материальному и нематериальному явлению можно найти объяснение и место в соответствующей сфере

применения, если систематизировать совокупность его основных свойств. Следовательно, обобщенное место физических упражнений и специальных технических средств, в процессе спортивной тренировки можно определить, если описать *где и в каких условиях они применяются, для чего предназначены, какие задачи педагогического процесса решают, а также каким образом они должны использоваться*. Следует отметить, это имеет отношение и к физическому упражнению, выполняемому в естественной внешней среде, без использования каких либо дополнительных технических устройств или приспособлений.

Если принять эту концепцию, то применительно к спортивной технике, можно рассматривать её *эксплуатационные, потребительские и методические свойства*. Такой подход позволит оценить в комплексе эффективность физических упражнений при различиях в конструктивном исполнении различных технических средств.

## 2.2. Основные свойства спортивной техники

*Эксплуатационные свойства* спортивной техники определяются конструктивными особенностями, выраженными в виде технических характеристик. Эксплуатационные свойства спортивной техники всецело зависят от условий использования, вида двигательной деятельности контингента пользователей, уровня их физического развития и подготовленности, элементной и производственной базы. Эксплуатационная эффективность, в первую очередь, зависит от конструктивных особенностей спортивной техники и определяется надежной и безопасной работой, в соответствующем периоде и условиях, а также экономическими критериями и полностью зависит от знаний и умений разработчика.

На рисунке 2.2 изображена структурная схема, показывающая особенности, обуславливающие эксплуатационную эффективность спортивной техники с выполняемым при ее помощи физическим упражнением. При изучении рисунка внимание следует сконцентрировать на характерных уровнях, отсчет которых начинается сверху вниз. Выделенные уровни показывают отношение к категории пользователей (занимающиеся спортом или физической культурой), расположенность относительно мест эксплуатации или хранения, рабочим нагрузкам на конструкцию по динамике и пространству, конструктивному оформлению, по энергообеспечению. На эффективность эксплуатационных свойств спортивной техники влияют также условия транспортировки.

Исследование свойств, влияющих на эксплуатационную эффективность спортивной техники, можно начать с анализа ее размещения. Уровни 1, 2 на рисунке 2.2. характеризуют *стационарно монтируемые конструкции, которые устанавливаются неподвижно независимо от места размещения, как на земле, в зданиях, так и на перемещающемся объекте.*

*Переносной* характер спортивной техники проявляется, когда в качестве транспортного средства используется человек. Здесь, критерий эффективности проявляется в удобстве транспортировки оборудования за счет мускульных усилий человека. Степень защищенности спортивной техники от воздействия окружающей среды связана с местом расположения, то ли это *открытое пространство*, такое как стадион, или *закрытое помещение*, например, крытый манеж, спортивный зал или плавательный бассейн – открытый, или закрытый с повышенной влажностью окружающей среды. Это имеет место, как при эксплуатации, так и при хранении или транспортировке техники на значительные расстояния. С учетом того, что есть помещения для занятий спортом, где существуют повышенная опасность поражения электрическим током, то при выборе конструкции спортивной техники, особое внимание необходимо уделять вопросам электробезопасности, отдавая предпочтение автономным, низковольтным источникам энергообеспечения (уровень 6, рисунок 2.2).

Ещё одним критерием, определяющим эксплуатационную эффективность спортивной техники (уровень 3, рисунок 2.2), является надежность эксплуатации или наработка на отказ. Необходимо также учитывать, что на надежность влияет и характер самого упражнения (локального, регионального, глобального характера). Эксплуатация спортивной техники при массовом использовании, требует более высокого уровня надежности узлов и механизмов, а ее разработка и производство – больших материальных затрат. Спортивная техника *индивидуального пользования* характеризуется малой интенсивностью использования и сравнительно невысокими материальными затратами на изготовление.

При изучении связи *эксплуатационных свойств* спортивной техники с механической нагрузкой на несущих элементах ее конструкции (уровень 4, рисунок 2.2), следует выделить статическую и динамическую нагрузки. Они могут быть вызваны ускорениями или статикой массы тела спортсмена, отягощениями, вырабатываемыми исполнительными элементами различного вида и конструкции, либо тем и другим вместе.

Следует обратить внимание, что в отдельных случаях динамические нагрузки могут проявляться в импульсном режиме, или в случае тренировки взрывной силы, в ударном режиме. Изучив различные конструкции спортивной техники можно выделить категорию устройств, механическая нагрузка на рабочие элементы которых обусловлена силами, возникающими под действием массы тела спортсмена. Примером могут служить тренировочные устройства, выполняющие функции гимнастических снарядов. Это дает основание назвать их *ненагруженными*, когда механическая нагрузка на рабочие элементы не превышает 4000 Н в статическом режиме. Продолжительность воздействия такой нагрузки, при тренировке или испытания на надежность, может достигать нескольких часов.



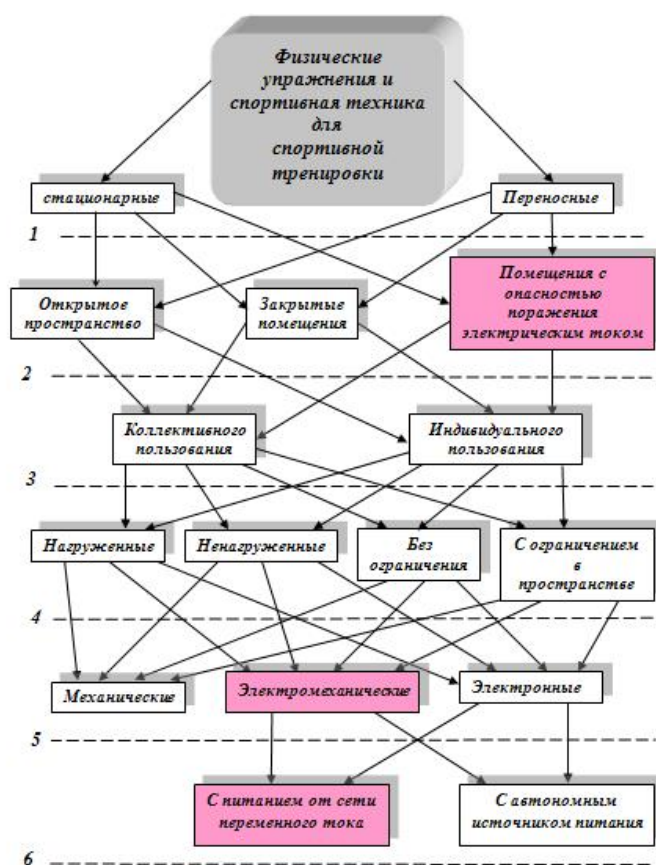


Рисунок 2.2 Взаимосвязь показателей, определяющих эксплуатационные свойства спортивной техники.

*Нагруженными* считаются конструкции с нагрузками на несущие и рабочие элементы, превышающие 4000 Н в статическом режиме, и достигающими 12000 Н в импульсном режиме.

Взаимодействие спортсмена с оборудованием во время спортивной тренировки определяет рабочее пространство. Здесь имеет место то пространство, которое занимает спортивная техника вместе с занимающимся на ней спортсменом.

Если взаимодействие спортсмена с тренировочным оборудованием осуществляется только в пределах обусловленных антропометрических показателей, например, длина тела, размах конечностей и т. п.,

то конструкция функционирует с ограничением в пространстве.

В случае, когда подобные действия спортсмена ограничиваются только особенностями спортивного сооружения, например, длиной плавательного бассейна или финишной линией 100-метровой беговой дорожки легкоатлетического манежа, конструкция спортивного оборудования не имеет ограничения.

Исполнительные элементы, вырабатывающие требуемые тренировочные нагрузки (уровень 5, рисунок 2.2), в основе своих конструкций, используют силы гравитации, упругости, трения, магнитоэлектрические явления, электромеханический привод, привод, основанный на гидравлике или пневматике и др.

Показатели оставшихся уровней 5,6 на рисунке 2.2 определяют выбор и обоснование элементной базы, технологию производства, энергообеспечение функционирования спортивной техники и др.

При определении особенностей, определяющих *потребительские свойства*, как и в предыдущем случае, необходимо найти критерий обобщенной классификации для различных технических устройств и специальных физических упражнений. Учитывая, что основным средством спортивной тренировки является физическое упражнение, следует рассмотреть классическое понимание его формы и содержания.

Форма физического упражнения представляет собой, должным

образом организованные, внутреннюю и внешнюю структуры. Если внешней структурой упражнения считать его видимые проявления, то основными факторами определяющими форму можно считать: пространственные, временные, динамические параметры движения, характер самого упражнения по воздействию на организм спортсмена, будь то локальное, региональное, или глобальное воздействие. С учетом перечисленных факторов, спортсмену, в любом случае, приходится выполнять упражнения, в естественных природных условиях. Эти природные условия определяются состоянием и реакцией окружающей среды на специфические соревновательные действия спортсмена. В основном это силы, возникающие при преодолении гравитации, упругости, трения, плотности воздушных масс, плотности и вязкости водной среды. Это все указывает на то, что в естественных условиях, без использования различного вида спортивного оборудования, форма и содержание физических упражнений достаточно ограничена. В то же время, современная спортивная тренировка требует пополнить свой арсенал, широким набором новых, различных педагогических средств, являющихся основными элементами ее технологии. С позиций спортивной инженерии задачи, поставленные спортивной педагогикой могут быть выражены через потребительские свойства комплекса *«физическое упражнение-техническое средство»*.

Использование современных возможностей машиностроения и приборостроения в создании разнообразной спортивной техники для обучения и тренировки спортсменов, дает возможность решить любую задачу спортивной подготовки, что и определяет так называемые потребительские свойства физического упражнения. Известно, что основу специфического содержания спортивной тренировки квалифицированных спортсменов составляет специальная физическая подготовка. Анализ данных о спортивной технике, приведенных в обзорном сборнике, дает возможность выделить круг спортивных устройств и оборудования, решающих подобные задачи. Связь между нагрузочной способностью таких устройств и пространственно-временными характеристиками движений спортсмена осуществляется по некоторым характерным специфическим зависимостям, которые можно использовать в качестве основы для анализа и сравнения.

С учетом этого, можно выделить ряд характерных устройств и оборудования, с помощью которых имеется возможность решения задач специальной физической подготовки.

На рисунке 2.3 показана классификация физических упражнений для специальной физической подготовки, по форме которых можно, в свою очередь, классифицировать и спортивную технику, предназначенную для этого вида подготовки. Если основополагающим требованием к функционированию подобных устройств и оборудования является выработка различных видов механических воздействий, то главным показателем технической характеристики таких устройств будет *нагрузочная способность*.

Под нагрузочной способностью упражнений показанных на рисунке 5, следует понимать зависимость между изменением значений тренирующего воздействия ( $F_{don}$ ) вырабатываемого исполнительным элементом спортивного устройства на мышечную систему спортсмена, и изменением положений в пространстве центров масс биокинематических звеньев тела, элементов этих звеньев или всего тела спортсмена.

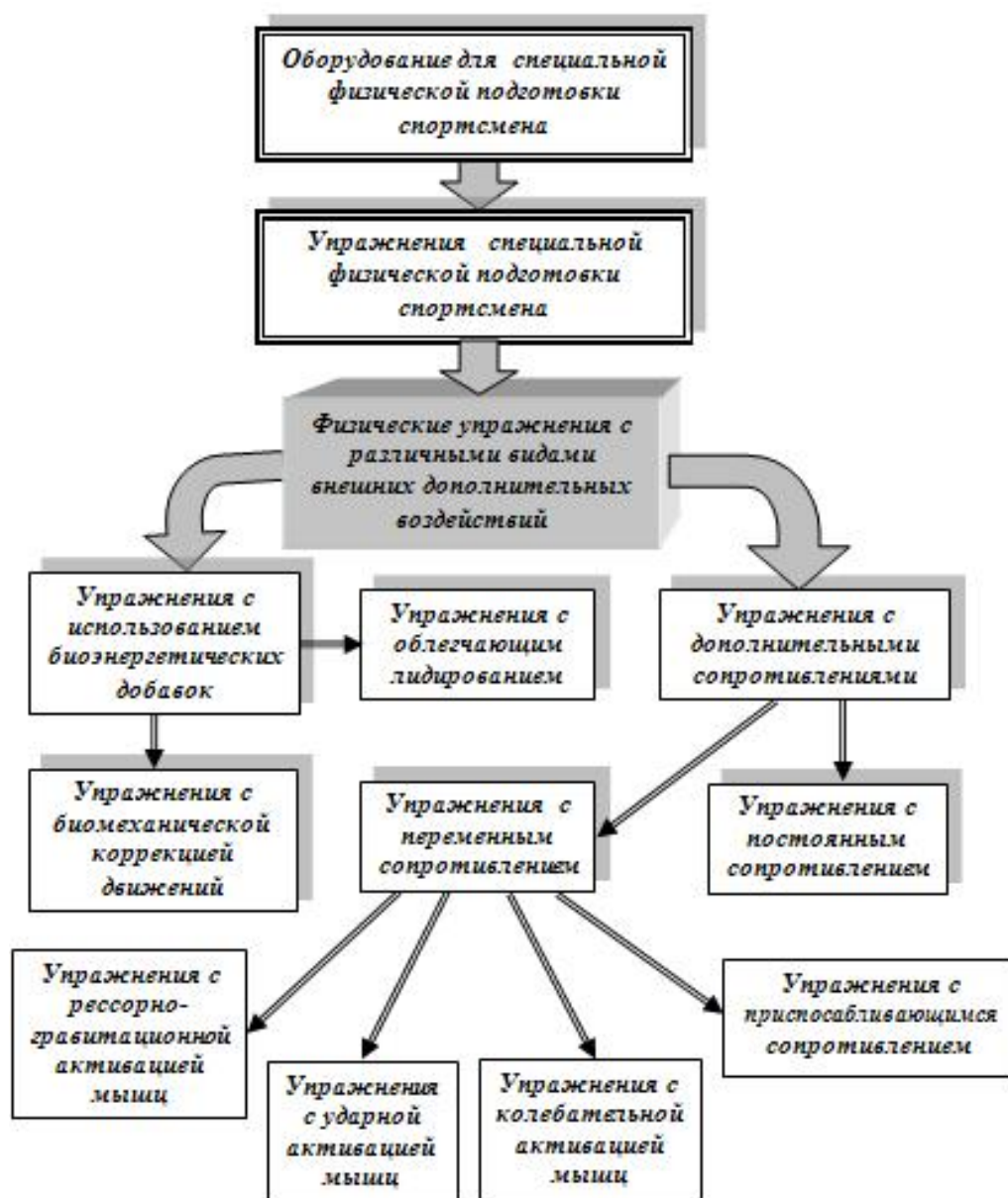


Рисунок 2.3 Особенности физических упражнений, формирующих потребительские свойства спортивной техники (на примере специальной физической подготовки спортсменов)

### 2.3 Конструктивные особенности спортивной техники в свете решения задач специальной физической подготовки спортсменов

Для упражнений с *дополнительным сопротивлением постоянного характера*, нагрузочная способность спортивно-технологического

оборудования определяется постоянством значения  $F_{доп}$  и величина этого значения выбирается в соответствии с потребительскими свойствами выполняемого упражнения:

$$F_{трени} = F_{движ} \pm F_{доп}$$

где  $F_{доп}$  – заданная постоянная величина с положительным значением при дополнительной нагрузке и отрицательном – при биоэнергетической добавке в двигательное действие.

Если  $F_{доп} = 0$ , то  $F_{трени} = F_{движ}$ . Это значит, что тренирующее воздействие характеризуется естественной внешней средой, где какие либо дополнительные приспособления отсутствуют.

$F_{доп}$  с дополнительным сопротивлением постоянного характера вырабатывается, преимущественно системами автоматического регулирования разомкнутого или замкнутого типа. Например, система автоматической стабилизации заданного параметра или синхронно-следящая система.

При этом, на примере использования системы автоматической стабилизации заданного параметра, постоянство значения  $F_{доп}$  сохраняется вне зависимости от изменения пространственно-временных параметров движений выполняемых спортсменом. Физические упражнения с дополнительным сопротивлением постоянного характера наиболее значимы при совершенствовании двигательных способностей связанных со статическими мышечными напряжениями любого характера.

При выполнении упражнений с *дополнительным сопротивлением переменного характера*, нагрузочная способность в общем понимании будет иметь вид:

$$F_{трени} = F_{движ} \pm F_{доп}, \text{ где}$$

$F_{доп} = A * X$  - механическая величина имеющая возможность изменяться, в пределах траектории движения, по любому математическому закону выбираемому в соответствии с реализацией методических свойств упражнений с переменным сопротивлением.

Коэффициент  $A$  может быть выражен практически любой математической зависимостью и описывается передаточной функцией цепи обратной связи системы управления исполнительным элементом, которая выбирается в соответствии с задачами вида спортивной подготовки.

Нужная передаточная функция определяется набором линейных и нелинейных элементов подключаемых к цепи обратной связи. Величина  $X$ , определяется биомеханическими параметрами специфических движений спортсмена. Коэффициент  $A$  может принимать и отрицательное значение. В этом случае, в физическое упражнение (двигательное действие) вносится биоэнергетическая добавка или облегчающее лидирование. Следует обратить

внимание, что спортивные упражнения с постоянным и переменным сопротивлением, могут носить локальный, региональный и глобальный характер. К примеру, в 70-х годах прошлого столетия в США, создано устройство (Патент США №3589193, кл. GOIL 5/02, 1971г), где тренирующая нагрузка на мускулы создается сервомотором, противостоящим вращению педалей или ручных средств, при сматывании троса с барабана тягой во время выполнения линейных движений. Система педалей, ручных средств, тросовых барабанов для взаимодействия с сервомотором смонтирована на его валу, который жестко связан с валом тахогенератора. Тахогенератор вырабатывает сигнал об изменениях угловой частоты вращения вала сервомотора. Этот сигнал, через систему усилителей - преобразователей, в преобразованном для создания нужного усилия виде, подается к усилителю мощности с целью требуемого управления изменениями угловой частоты вращения вала сервомотора, на основе которой и вырабатывается нужное усилие. В данной конструкции, функцию усилителя-преобразователя выполняет операционный и решающий усилитель, с цепью обратной связи, в которую с помощью коммутатора подключается набор полупроводниковых элементов имеющих линейную и нелинейную передаточные характеристики. Такое конструктивное оформление дает возможность воссоздать усилия практически всех локомоций характерных для деятельности человека и на основе их выработать тренировочные нагрузки.

Если упражнения выполняются с *использованием сопротивления приспособляющегося характера*, то здесь величина  $X$ , показывающая скорость движения в пределах амплитуды двигательного действия, - постоянна из-за приспособляемого мышечного усилия. Преимущественно, постоянство значения скорости обеспечивается системами автоматического регулирования с нагрузочным элементом в виде сервопривода.  $F_{доп}$  изменяется, от минимума до максимума, в пределах амплитуды движения и имеет всегда положительное значение. При максимальном значении  $F_{доп}$ , скорость двигательного действия стремится к нулевому значению. При минимальном значении  $F_{доп}$ , скорость двигательного действия стремится к своему максимальному значению.

Такое физическое упражнение, в некотором приближении, может носить название изокинетического упражнения. Постоянство скорости движения, в этом случае, поддерживается путем воздействия специальных центробежных регуляторов, воздействующих на фрикционные тормозные диски. Во всей перечисленных типах упражнений работа мышц происходит в преодолевающем режиме.

При использовании *упражнений с облегчающим лидированием* воздействие биоэнергетических добавок выражено в виде облегчающего лидирования, обеспечивающего уменьшение влияния сил гравитации, сил сопротивления воздушной или водной сред путем различного буксировочного оборудования и устройств. При помощи такого

оборудования и устройств, спортсмен выполняет специфические движения во время буксировки, например в водной среде, на скоростях превышающих соревновательные. В другом случае, перед спортсменом движется защитный экран, позволяющий свести к минимуму, или в нужной мере уменьшить, влияние сопротивления воздушной среды. При выполнении упражнений на основе биоэнергетических добавок, для управления влиянием сил гравитации используются всевозможные системы подвесов с блочными механизмами, уменьшающими массу тела спортсмена, например, конькобежца. Облегчающее лидирование может применяться и к перемещаемому, спортивному снаряжению, например при поднимании тяжестей. По своему воздействию, это в преобладающем большинстве, упражнения глобального характера.

Физические упражнения с подобными видами дополнительных сопротивлений, применительно для тренировки конькобежцев, показаны на рисунке 2.5 – блок Б.

На том же примере, рисунок 2.5 – блок А отражено использование упражнений с дополнительным постоянным или переменным сопротивлением. Для сравнения, на рисунке 2.4 показана тренировка конькобежца при физических упражнениях, основанных на специфических двигательных действиях в естественной внешней среде.

Выполнение упражнений с *биомеханической коррекцией движений* обусловлено контролируемым ограничением степеней свобод путем использования специальных направляющих и ограничителей движений, или отдельных фаз движений. Например, специальные направляющие для фиксации траектории движения руки и ее кисти при броске баскетбольного мяча в кольцо с нужной дистанции. Как правило упражнения такого типа являются упражнениями регионального или глобального характера.

Оборудование для упражнений с *биомеханической коррекцией движений* может быть использовано практически для всех видов физических упражнений отмеченных на рисунке 2.5. В то же время само физическое упражнение с *биомеханической коррекцией движений* обеспечивает тренировку по методу сопряженного воздействия, в процессе обучения и совершенствования двигательных действий.

*Упражнения гравитационно-рессорного характера* оказывают своё нагрузочное воздействие за счет сил гравитации во время контакта тела спортсмена с различными спортивными снарядами. Упражнения гравитационно-рессорного характера самые распространенные в практике спортивной тренировки. Для упражнений такого типа, характерно то, что при их выполнении, спортсмену в большинстве случаев приходится преодолевать усилие:

$$F_{трен} = F_{двиг} + gF_{дон}, \text{ где,}$$

$g$  – сила гравитации. Если ускорение имеет минимальное значение

близкое к нулевому, то  $F_{доп} = 0$ . Проявление  $F_{двиg}$  определяется спецификой спортивной деятельности и при отсутствии внешних дополнительных нагрузок  $F_{трен} = F_{двиg}$ .

Если  $F_{доп}$  не равно 0, то это говорит о том, что здесь используется тренировочное приспособление или тренажерное устройство. При значении  $F_{доп}$  выше нулевого значения имеет место дополнительное сопротивление, например в частном случае, при перемещении спортивных снарядов или тел увеличенной массы.



Рисунок 2.4 Тренировочное упражнение в условиях внешней естественной среды».



Рисунок 2.5 Тренировочное упражнение в условиях «внешней искусственной среды»

А – тренировочные устройства создают постоянное дополнительное тренирующее усилие ( $F_{доп} = CONST$ ) или переменное дополнительное тренирующее усилие ( $+F_{доп}$  – функция скорости движения, пути, или положения в пространстве). То же при создании тренирующего усилия приспособляющегося характера.

Б - тренировочные устройства создают биоэнергетические добавки в виде облегчающего лидирования ( $-F_{доп}$  – функция скорости движения, пути, или положения в пространстве)

При значении  $F_{доп}$  ниже нулевого значения действует облегчающее лидирование в виде специфического дополнительного ускорения.

Спортивная техника для создания и управления  $F_{доп}$  представляет собой, в преобладающем большинстве, систему разнообразных площадок или опор переменной высоты, кронштейнов с поручнями и т. п., с приспособления для минимизации ограничения степеней свобод перемещений в биокинематических звеньях. По сути, с использованием упражнений гравитационно–рессорного характера можно решать наиболее широкий круг задач спортивной тренировки.

В самом упрощенном варианте, упражнения гравитационно–рессорного характера могут быть реализованы увеличением массы тела спортсмена путем закрепления на нем утяжеляющего пояса, либо браслетов для рук или ног. Упражнения гравитационно–рессорного характера можно выполнять перемещая спортивные снаряды с увеличенной массой.

На рисунке 2.6 показано взаимодействие спортсмена с разновысокой

платформой при выполнении упражнений гравитационно–рессорного характера.

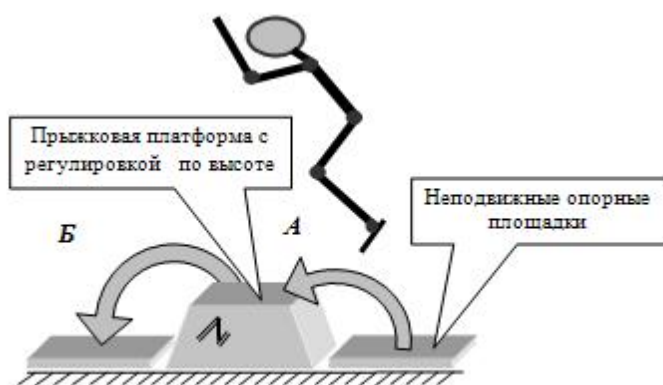


Рисунок 2.6 Тренировочное упражнение гравитационно-рессорного характера

биомеханической стимуляции,  $F_{доп}$  проявляется на фоне внешних, упорядоченных механических перемещений (вибрации), имеющих определенную частоту и амплитуду. Стрелки значения  $F_{доп}$  обозначают изменение направления таких перемещений. Вектор этих колебательных перемещений направлен вдоль мышечных волокон, участвующих в специфических движениях биокинематических звеньев. Движение точек поверхностей, возбуждающих колебательные процессы в мышцах спортсмена, осуществляется по определенному периодическому закону с фиксированной частотой и амплитудой:

- для вибросмещений  $z = A \sin \omega t$ ;
- для виброскоростей  $v = \omega A \cos \omega t$ ;
- для виброускорений  $j = \omega^2 A \sin \omega t$

Здесь вибросмещения и виброскорости управляют микроциркуляцией крови (гемодинамикой), виброускорения – активностью нервного волокна.

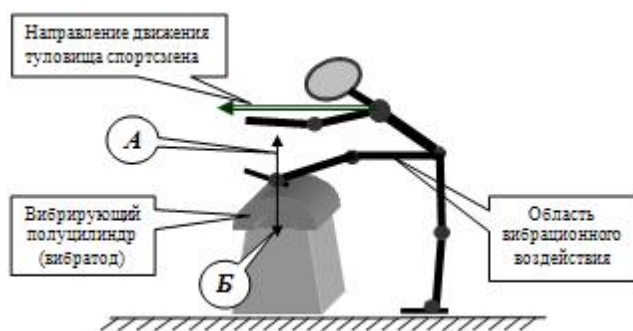


Рисунок 2.7 Тренировочное упражнение с колебательной активацией мышц задней поверхности бедра

А– прыжок спортсмена на площадку, когда его мышечная система работает в преодолевающе-уступающем режиме;

Б– прыжок спортсмена с площадки, когда его мышечная система работает в уступающем режиме.

При упражнениях с колебательной активацией мышц, или же при

Стрелка А показывает движение вибратора вверх, что соответствует преодолевающему режиму работы мышц;

Стрелка Б показывает движение вибратора вниз и указывает на уступающий режим работы мышц.

Учитывая особенности воздействия подобных колебаний на организм человека,

можно моделировать режимы предельных мышечных напряжений при малых значениях  $F_{доп}$ .

Работа мышц, при упражнениях с колебательной активацией, может носить смешанный характер. Периодическое изменение направления движения поверхностей возбуждающих колебания приводит к



чередованию преодолевающего и уступающего режимов работы мышц по всей траектории движения (рисунок 2.7). Упражнения, такого типа, имеют преимущественно локальный, региональный характер, а в отдельных случаях, могут быть и глобальными.

С учетом существующего в практике оборудования такого типа можно выделить четыре вида механизмов, создающих условия для реализации физических упражнений с колебательной активацией мышц. К таким механизмам относятся механизмы на основе шатунных систем и эксцентриситета, кулачковых, кулисных систем, и систем использующих эффект динамических реакций на опоры при вращения звена со смещенным центром массы вокруг своей оси.

Разновидностью упражнений специфического воздействия на мышечную систему спортсмена являются *упражнения с ударной активацией мышц* при взаимодействии с баллистическими телами. Здесь, на отдельные мышцы спортсмена воздействуют аperiodические, кратковременные и значительные по величине нагрузки. Величина, таких нагрузок, может достигать нескольких десятков тысяч ньютонов.

Для создания ударных ускорений и соответствующих им нагрузок, применяются механизмы обеспечивающие взаимодействие «молота» и «наковальни» в горизонтальном, - качающемся, или в вертикальном, - падающем направлениях. Молот представляет собой твердое тело подвешенное на жесткой нити нужной длины и приспособления для стопорения молота в исходном положении. При взаимодействии «молота» и «наковальни», в горизонтальном направлении, эта система работает по принципу баллистического маятника. В вертикальном направлении, такое взаимодействие реализуется - по принципу падающего или брошенного вверх физического тела. При взаимодействии спортсмена с телами такого типа, его мышечная система выполняет функцию «наковальни» и принимает на себя всю энергию их контакта. Параметрами определяющими значение  $F_{дон}$ , являются масса маятниковой системы или физического тела, амплитуда отклонения, длина маятника, или высота подъема этого тела. Две стрелки перед величиной  $F_{дон}$  показывают направление усилий спортсмена при воздействии на перечисленные объекты, верхняя стрелка, либо при противодействии, - нижняя стрелка. Связь этих параметров выражается через максимальную скорость этих тел на момент взаимодействия с мышечной системой спортсмена.

Например, для баллистического маятника ( рисунок 2.8):

$$V_{макс} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1-\cos\alpha)}, \text{ где}$$

l – радиус качания;

h – высота подъема тела;

$\alpha$  – угол отклонения молота от вертикали.

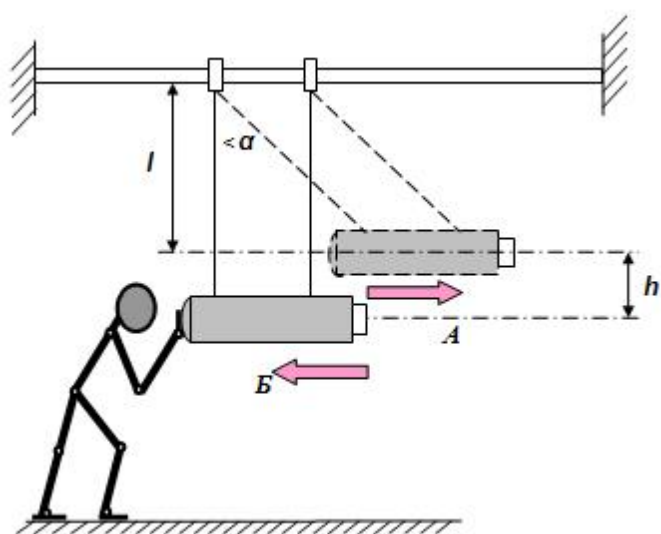


Рисунок 2.8 Тренировочное упражнение с ударной активацией мышц

$A$  – толчок баллистического маятника (молота) до высоты качания  $h$  создает преодолевающий режим работы мышц;

$B$  – противодействие спортсмена падению молота с высоты  $h$  создает для его мышечной системы уступающий режим работы мышц.

Работа мышц при подобных упражнениях носит уступающий характер, если спортсмен принимает на себя энергию баллистического

маятника. В действиях связанных с выведением баллистического тела из состояния покоя, мышечная система спортсмена работает в преодолевающем режиме. В зависимости от физических параметров баллистического маятника, физическое упражнение с ударной активацией мышц может носить преимущественно локальный, региональный и в отдельных случаях, глобальный характер. Упражнения этой категории наиболее эффективны при воспитании быстроты и скоростно-силовых качеств.

При решении задач специальной физической подготовки существуют физические упражнения с двигательными взаимодействиями, когда внешняя искусственная среда создается системой, изменяющей свое положение в пространстве. Это может быть непосредственный физический контакт с системой, либо создание с помощью механического привода или электронной информационной системы ситуации, на которую должен реагировать спортсмен. Также, физические упражнения с двигательными взаимодействиями, имеют место, когда внешняя искусственная среда создается двигательными действиями партнера, либо противника. В подобных условиях могут выполняться, в основном, упражнения гравитационно-рессорного характера и другие, за исключением упражнений с дополнительным сопротивлением постоянного характера, упражнений с колебательной активацией мышц. Физические упражнения с двигательными взаимодействиями имеют, как правило глобальный характер.

*Потребительские свойства* спортивной техники должны быть самым тесным образом связаны с формой физических упражнений, видом подготовки и кругом решаемых задач. Потребительская эффективность, при этом, показывает какие задачи, в количественном отношении решаются в процессе данного вида подготовки. Следует обратить внимание, что потребительская эффективность зависит главным образом от мастерства специалиста, осуществляющего проектирование конструкции

тренировочного устройства или спортивного тренажера. Таким образом, основной задачей спортивной инженерии, при конструировании, либо выборе технических устройств и оборудования, является определение требуемой формы специфического физического упражнения с учетом наибольшего тренирующего эффекта.

*Методические свойства* проявляются в создании возможности использования различных методов освоения и регламентации двигательных действий с применением специального оборудования, в конкретном виде подготовки спортсменов. Здесь, в первую очередь, необходимо определиться с возможностью использовать наиболее широкий круг методов дозирования тренировочной нагрузки при выполнении физических упражнений. Следует выделить две группы методов: стандартно-повторного упражнения и переменного упражнения. Для каждой из них свойственны следующие варианты: метод непрерывного упражнения, и метод с прерывистой нагрузкой – метод интервального упражнения. Можно выделить, также, комбинированные методы упражнений.

В конечном итоге методические свойства проявляются в создании адекватных тренировочных заданий и программ их реализации, что всецело зависит от мастерства педагога.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие существуют разновидности условий внешней среды, где спортсмен может реализовать свои двигательные действия.
2. Перечислите основные свойства физических упражнений.
3. Чем характеризуются эксплуатационные свойства спортивной техники.
4. Чем характеризуются потребительские свойства спортивной техники.
5. Чем характеризуются методические свойства спортивной техники.
6. В чем проявляются особенности физических упражнений с дополнительным сопротивлением постоянного характера
7. В чем проявляются особенности физических упражнений с дополнительным сопротивлением переменного характера.
8. В чем проявляются особенности физических упражнений с облегчающим лидированием.
9. В чем проявляются особенности физических упражнений с биомеханической коррекцией движений.
10. В чем проявляются особенности физических упражнений гравитационно–рессорного характера.
11. В чем проявляются особенности физических упражнений с сопротивлением приспособляющегося характера.
12. В чем проявляются особенности физических упражнений с колебательной активацией мышц.

13. В чем проявляются особенности физических упражнений с ударной активацией мышц.

14. В чем проявляются особенности физических упражнений с двигательными взаимодействиями.

15. Перечислить факторы, определяющие опасность поражения электрическим током при эксплуатации спортивного оборудования.

16. Привести пример механического, электромеханического и электронного спортивного оборудования.

17. Что такое нагруженное и ненагруженное спортивное оборудование.

18. Что такое спортивное оборудование с ограничением перемещения и без ограничения перемещения в пространстве.

19. Что такое стационарное и переносное спортивное оборудование.

20. Какие существуют виды спортивного оборудования для коллективного и индивидуального использования.

### Литература

1. Бойченко, С.Д. Классическая теория физической культуры: Введение. Методология. Следствия / С.Д. Бойченко, И.В. Бельский – Мн.: Лазурак, 2002. – 312 с.

2. Каунсилмен, Джеймс Е. Спортивное плавание./ Джеймс Е. Каунсилмен пер. с англ. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 208 с., ил.

3. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам./ А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.

4. Логинов, В.Н. Электрические измерения механических величин – изд. 2-ое, доп. / В.Н. Логинов. – М.: Энергия, 1976. – 104 с. ил.

5. Ратов, И.П. Двигательные возможности человека / И.П. Ратов – Мн.: Издатель Труш Л.Н. Лицензия ЛВ 478, 1994. – 190 с.

6. Михеев, А.А.. Стимуляция биологической активности как метод управления развитием физических качеств спортсменов / А.А. Михеев, Министерство спорта и туризма Республики Беларусь. – Мн., 1999. – 502 с., ил.

7. Тимошенко, В.В. Тренажеры в велосипедном спорте / . В.В. Тимошенко – Мн.: Издатель Труш Л.Н. Лицензия ЛВ 478, 1994. – 126 с.

8. Юшкевич, Т.П. Тренажеры в спорте / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, А.А. Буланов – М.: Физкультура и спорт, 1989. – 320 с., ил.

9. Юшкевич, Т.П. Применение технических средств в обучении и тренировке спортсменов / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, А.А. Буланов – Мн.: Польша, 1987. - 240 с., ил.

## Тема 3. Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена

### 3.1 Современная модель мышцы двигательного аппарата спортсмена

Любое двигательное действие человека связано со специфическими процессами в мышечной системе. Современная модель мышцы описывает ее как комбинацию упругих и сократительных компонентов. Упругие компоненты аналогичны пружинам в которой энергия упругой деформации

$P_{\partial} = C(Dl)^2/2$  равна механической работе, которая была затрачена на ее растягивание. *Упругие компоненты* представляют собой соединительнотканые образования, составляющие оболочку мышцы и ее пучков, а также сухожилия и места перехода миофибрилл в соединительную ткань.

*Сократительные компоненты* соответствуют тем участкам мышечного волокна (называемые саркомерой), где актиновые и миозиновые нити (миофиламенты) перекрывают друг друга. Именно эти участки обеспечивают изменение длины и натяжение мышцы при ее возбуждении. Покоящаяся мышца (препарат мышцы) обладает упругими свойствами и стремится восстановить свою длину после прекращения растягивания (то есть принимает *равновесную* длину). При этом ее упругие силы равны нулю. В живом организме этого не наблюдается – длина мышцы всегда больше равновесной, т.е. мышцы всегда находятся в тонусе.

В случае принудительного растягивания мышцы сила, ее тяги изменяется неравномерно, достигая максимума при некоторой длине (длине покоя) и затем уменьшается, так как при чрезмерном удлинении уменьшается количество актин-миозиновых мостиков. Причем сила тяги мышцы снижается не только при значительном увеличении ее длины, но также и при ее сокращении. Таким образом, упругие силы, то есть энергия упругой деформации параллельных и последовательных упругих компонентов вносит значительный вклад в осуществление преодолевающего движения, увеличивая силу сокращения мышцы.

Следует отметить, что для мышц характерно и такое свойство как релаксация, проявляющаяся в снижении силы упругой деформации с течением времени. Если преодолевающее движение по каким-либо причинам не выполняется, то примерно через 0,12 с упругие силы превращаются в тепло и рассеиваются. Так выполнение прыжка с места сразу после подседа повышает мощность преодолевающей работы мышц. Однако, задержка в подседе, (в фазе амортизации) снижает результат в упражнении.

*Механика мышечного сокращения.* По признаку «сила тяги – длина мышцы» выделяют следующие режимы мышечного сокращения. *Изометрический* – сила тяги равна внешнему сопротивлению и длина мышцы не изменяется. *Концентрический* (миометрический, преодолевающий) – сила тяги больше внешнего сопротивления, мышца укорачивается. *Эксцентрический* (*плиометрический, уступающий*) – сила тяги меньше внешних сил, мышца удлиняется.

В лабораторных условиях (при использовании специальных устройств) можно создать режим, когда мышца сокращается при неизменной силе тяги – *изотонический режим*.

В практике изолированные режимы сокращения мышц встречаются очень редко. Как правило, при выполнении бытовых и спортивных движений мышцы сокращаются в комбинированных режимах. То есть имеет место так называемый ауксотонический режим, при котором мышца сначала принудительно удлиняется, затем укорачивается.

При воздействии внешнего сопротивления, механические характеристики мышечного сокращения зависят от его величины. При его увеличении (стимуляции) отмечается следующее:

- латентный период возбуждения мышцы увеличивается. Это связано с увеличением времени, необходимого для достаточного растяжения последовательно упругих компонентов, чтобы сила тяги мышцы превысила внешнее сопротивление;

- величина укорочения мышцы уменьшается;

- скорость укорочения мышцы падает.

При одной и той же степени стимуляции мышцы ее сила тяги зависит от длины мышцы в данный момент; скорости изменения длины; а также времени от начала стимуляции.

Основным механическим условием, определяющим тягу мышц, является нагрузка. Под ее воздействием удлиняется мышца при уступающей работе. Напротив, работая против нее (т.е. сокращаясь) мышца выполняет работу преодолевающую. С ростом нагрузки сила тяги мышцы растет, но не беспредельно. Нагрузка может быть представлена разными способами: весом отягощения, силой инерции, упругости, трения. Поэтому более корректно говорить о внешнем сопротивлении.

Движение звеньев в кинематической цепи как результат тяги мышц зависит также от закрепления звеньев; соотношения движущих сил и сил сопротивления; начальных условий движения.

Из анатомических условий проявления силы тяги мышц наиболее важными являются: строение мышцы и ее расположение в данный момент времени. Физиологический поперечник (площадь сечения через все волокна) определяет суммарную тягу и величину упругой деформации волокон. Расположение мышцы в каждый момент движения определяет угол ее тяги относительно костного рычага и величину растягивания, что влияет на

величину момента силы тяги мышцы. При углах, отличающихся от прямого, кроме вращающей, есть и укрепляющая составляющая силы тяги. Величины вращающей и укрепляющей составляющих находятся в обратной зависимости.

### 3.2 Разновидности и механика мышечных сокращений

Разновидности работы мышц определяются сочетанием их силы тяги и длины. Виды работы мышц (преодолевающая, уступающая, статическая) определяются только характером изменения длины всей мышцы: укорочением, удлинением, сохранением. Для каждого из этих трех случаев существует возможность как минимум трех вариантов изменения силы тяги: увеличение, уменьшение, сохранение. Отсюда выделяют 9 типичных разновидностей работы мышц, отраженных в нижеприведенной таблице. Изотонический режим в естественных условиях практически не встречается. Чаще всего мы имеем дело с разгоном до максимальной скорости, торможением до остановки, торможением с уступанием. В спортивных движениях практически всегда мышцы сокращаются в смешанных режимах. Преодолевающей работе предшествует работа уступающая. В этом случае силы упругой деформации вносят существенный вклад в повышение мощности преодолевающих движений. Рассматривая силовые проявления в конкретных двигательных действиях, следует помнить, что синергизм (совместное действие) и антагонизм (противоположное действие) в работе мышц относительны. Составляющие тяги синергистов могут быть направлены под углом друг к другу.

Сила тяги мышц	Длина мышцы		
	Уменьшается	Постоянная	Растет
Увеличивается	Движение «до отказа»	Усиление фиксации	Торможение до остановки
Постоянная	Изотоническое преодоление	Постоянная фиксация	Изотоническое уступание
Уменьшается	Разгон до максимальной скорости	Ослабление фиксации	Торможение с уступанием
Вид работы	Преодолевающая	Статическая	Уступающая

Кроме того, совместное действие синергистов и антагонистов обеспечивает направление и скорость движения, и они, таким образом, в некоторой степени проявляют синергизм. В суммарном виде такие совместные, координированные действия мышц обеспечивают силовые проявления в специфических движениях. В настоящее время это называют межмышечной координацией. Несогласованная работа нескольких групп мышц (агонистов и антагонистов) снижает эффективность двигательных

действий и является причиной травматизма.

Вместе с тем, тормозящее действие мышц антагонистов может отсутствовать в тех случаях, когда движение выполняется против постоянного сопротивления, либо против возрастающего сопротивления (упругая сила). Ускоряющее действие синергистов против сил упругости возрастает, а против сил инерции уменьшается. Таким образом, упражнения с резиновым амортизатором и со свободно перемещающимся отягощением различны по характеру работы мышц.

Влиянием упругих и инерционных сил объясняется разное согласование тяги синергистов и антагонистов в повторяющихся колебательных движениях разной частоты. В медленных движениях работа мышц противоположной тяги чередуется. Антагонист тормозит звено, а затем став синергистом движет звено в обратную сторону. С увеличением частоты движений активность синергистов и антагонистов перекрывает друг друга.

Распределение усилий в группе мышц любого из суставов по ходу движения меняется. Практически невозможна точная дозировка силы тяги каждой мышцы, скорости изменения усилия, времени начала и окончания активности каждой мышцы. Научиться преодолевать рассогласования мышечных тяг – одна из главных задач при овладении движениями, путь к наибольшей точности и экономичности движений.

### 3.3 Основной закон мышечной динамики

Свойства упругих и сократительных компонентов мышцы наиболее ярко описываются законом Хилла (основной Закон мышечной динамики). В середине прошлого века А. Хилл и его коллеги подводя к изолированной портняжной мышце лягушки различный по продолжительности потенциал действия и измеряя скорость изменения длины сокращающейся мышцы, установили, что связь между силой и скоростью изменения длины этой мышцы изменяется по гиперболическому закону:

$$v = b(P_0 - P)/(P + a),$$

где  $P$  – сила действующая при сокращении мышцы,  $v$  – скорость сокращения (укорочение) мышцы,  $P_0$  – максимальная сила при нулевой скорости (изометрический режим сокращения мышцы),  $a$  и  $b$  – константы характеризующие кривизну зависимости. Значения  $P$ ,  $v$  и  $P_0$  можно получить путем соответствующих измерений, а для определения значения констант  $a$  и  $b$  следует воспользоваться следующими соотношениями, где  $a/P_0 = 0,25$ ,  $b/l_0 = 0,325$  ( $l_0$  – стандартная длина мышцы) Величина  $a$  в уравнении имеет размерность силы, а величина  $b$  – размерность скорости и зависит от биохимических процессов в самой мышце при ее иннервации.

Рассматриваемый закон справедлив для любого биологического



организма и распространяется, как на отдельную, изолированную мышцу, так и мышечную группу в региональном или глобальном масштабе.

На рисунке 3.1 показана зависимость сила-скорость, а также изменение мощности сокращающейся мышцы в зависимости от скорости ее сокращения. Кривая графика отражает преодолевающий режим сокращения мышцы. Такой выбор кривой сделан с тем, что в двигательной деятельности человека, как в повседневной жизни так и в спорте, преобладает преодолевающий характер мышечных сокращений.

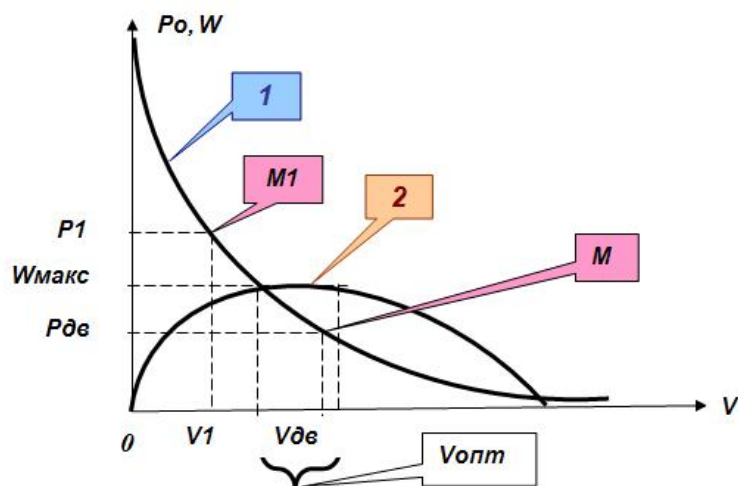


Рисунок 3.1 Зависимость «сила-скорость» и «мощность-скорость» для активных мышечных напряжений (сокращений) в преодолевающем режиме

$1$  – зависимость сила-скорость;  $2$  – зависимость мощность-скорость;  $P_0$  – предельное напряжение мышцы (изометрический режим сокращения);  $V$  – скорость ее сокращения;  $V_{opt}$  – диапазон скоростей, оптимальный в отношении к  $W_{max}$  – мощности развиваемой при мышечном напряжении. Обычно он находится в пределах  $0,2 \div 0,4V$ . Точки  $M$  и  $M1$  – место

пересечения значений координат с кривыми  $1$  и  $2$ .

На рисунке 3.1 отражен самый простой случай, когда активное мышечное сокращение  $P_{дв}$  связано с силовым воздействием на предмет, с целью его перемещения в пространстве. Здесь видно, что проекция точки пересечения значения  $P_{дв}$  с кривой  $1$  на горизонтальную ось графика указала на скорость  $V_{дв}$ , с которой происходит это перемещение. На других аналогичных примерах можно показать, что чем с большей силой  $P1$  надо воздействовать на перемещаемый предмет, тем меньшая скорость  $V1$  разовьется при этом, и наоборот – меньшей силой можно развить большую скорость.

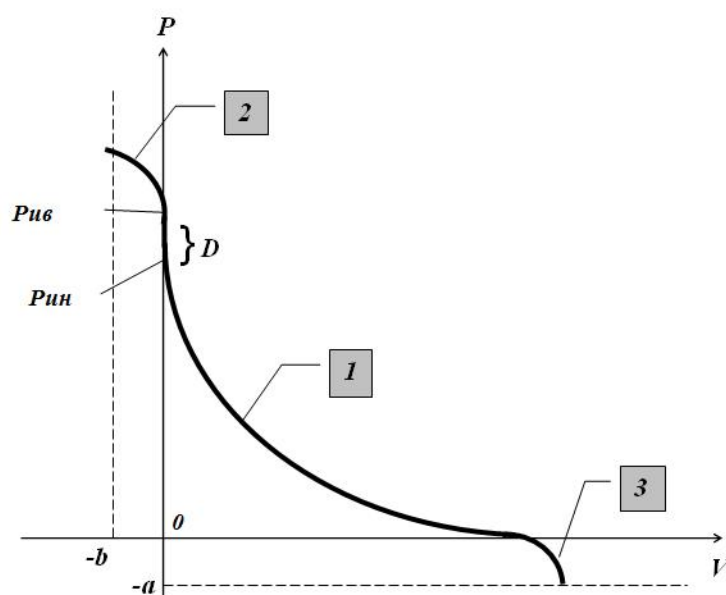


Рисунок 3.2 Реальная зависимость «сила-скорость», отражающая различные режимы мышечных напряжений

1,2,3 – участки с различным положением кривой на графике;

1 – участок кривой характеризующий предельные сокращения мышц в преодолевающем режиме;

2 – участок кривой характеризующий предельные сокращения мышц в уступающем режиме;

3 – участок кривой характеризующийся пассивным сопротивлением мышцы быстрому

сближению ее концов;

$P_{ив}$  и  $P_{ин}$  – верхняя и нижняя границы предельного изометрического напряжения мышцы;

$D = (P_{ив} - P_{ин})$  – интервал предельных сокращений мышцы в изометрическом режиме;

$a$ ,  $b$  – константы характеристического уравнения Хилла, соразмерные со скоростью и силой.

Рассматривая зависимость сила-скорость, для более сложных двигательных действий необходимо учитывать переменность режимов мышечных напряжений в отдельном двигательном действии.

На рисунке 3.2, на кривой, отмечены три зависимости, отражающие различные режимы мышечных напряжений. Одна из них (кривая 1, сходная с кривой рисунка 3.1) – «напряжение – скорость сокращения» в режиме активного укорочения (сокращения) мышцы соответствует преодолевающему режиму напряжения. Другой участок кривой, под номером 2, показывает растягивание (удлинение) активно напряженной мышцы, что соответствует уступающему режиму напряжения. Участок кривой 3 характеризует пассивное сопротивление оказываемое мышцей слишком быстрому сближению ее концов. Подобные явления можно отметить в силовых единоборствах, например – во многих видах спортивной борьбы.

Рассматривая характерные участки кривой, характеризующей зависимость «сила-скорость» для различных режимов мышечных напряжений необходимо выделить два обстоятельства:

а) при нулевом значении скорости сокращения мышцы (изометрический режим) зависимость претерпевает скачок, так что

существует верхнее и нижнее значения предельного напряжения мышцы в изометрическом режиме (соответствующем статической работе);

б) в зоне удлинения (отрицательных скоростей сокращения) мышцы (кривая 2) предельное напряжение ее возрастает с увеличением абсолютной величины скорости. Это дает возможность объединить обе ветви зависимости «напряжение-скорость сокращения» единой упрощенной формулировкой – *с возрастанием скорости активного сокращения мышцы величина ее предельного напряжения уменьшается и наоборот.*

Особый интерес представляет использование Закона Хилла при анализе особенностей силовых противоборств. Здесь не подлежит сомнению, что в одинаковых условиях выиграет более мощный спортсмен. Однако, как поведут себя в тех же условиях, равные по мощности спортсмены, за счет чего один выиграет у другого? Дать ответ этому можно, рассмотрев график зависимостей «сила-скорость», двух противоборствующих спортсменов изображенный на рисунке 3.3

На графике рисунка 3.3, кривые 1 и 2 характеризуют силовые действия противоборствующих атлетов с относительно равными скоростно - силовыми возможностями.

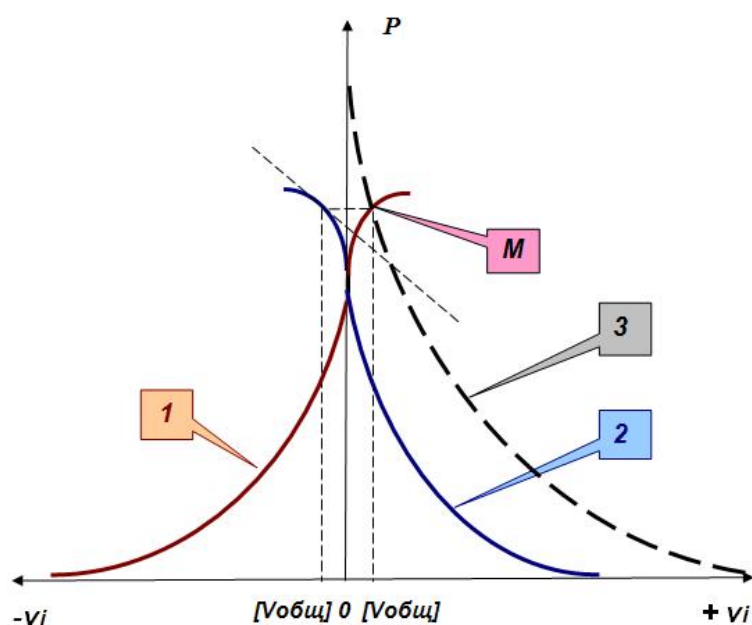


Рисунок 3.3. Зависимость «сила – скорость» применительно к силовому противоборству

Кривая 3 показывает предельные скоростно-силовые возможности. Так как силы у противоборствующих спортсменов равны между собой, то кривая 2 – зеркальное отображение кривой 1 относительно оси координат. Точки кривой 2 получены по координатам точки кривой 1 изменением знака значений скорости на отрицательное значение (т. е. координаты  $V_i$  на  $-V_i$ ).

Пересечение кривых 1, 2 и 3 дает точку  $M$ , в которой равны абсолютные значения скорости  $[V об]$  и силы, которые проявляют противоборствующие атлеты.

В таких силовых противодействиях, мышцы побеждающего работают в преодолевающем режиме, мышцы побеждаемого – в уступающем. Если силовые возможности противников одинаковые, тот из них, мышцы которого работают в уступающем режиме, смог бы развить значительно большую силу, чем тот, мышцы которого работают в преодолевающем режиме и немедленно остановить противника (рисунок 3.2). Если силовые

возможности одного из противодействующих спортсменов выше, он в состоянии в преодолевающем движении проявить такую же силу, какую другой может проявить лишь в уступающем режиме (точка *M* графика на рисунке 3.3). При этом скорость перемещения руки такая, при которой предельная сила уравнивается  $[V_{общ}]$  (рисунок 3.3). Квадратные скобки означают, что указывается модуль, абсолютная величина скорости, знак ее, т.е. направление не учитывается, благодаря чему можно одинаково обозначить скорости уступающего и преодолевающего движений – ведь абсолютная величина их у обоих противодействующих всегда одинакова, различен только знак. Главным выводом из сказанного является следующее – если необходимо проявить в каком-либо движении как можно большую силу, следует так построить его, чтобы оказалось возможным при предельном (обязательно предельном) напряжении мышц выполнять это движение, как можно медленнее – такой прием приведет к соответственному увеличению предельной силы движения. Таким образом, с помощью специальных технических средств можно, создавать такие двигательные режимы, когда невзирая на максимальную, энергичную работу мышц и на их предельное напряжение, движение будет протекать как можно медленнее.

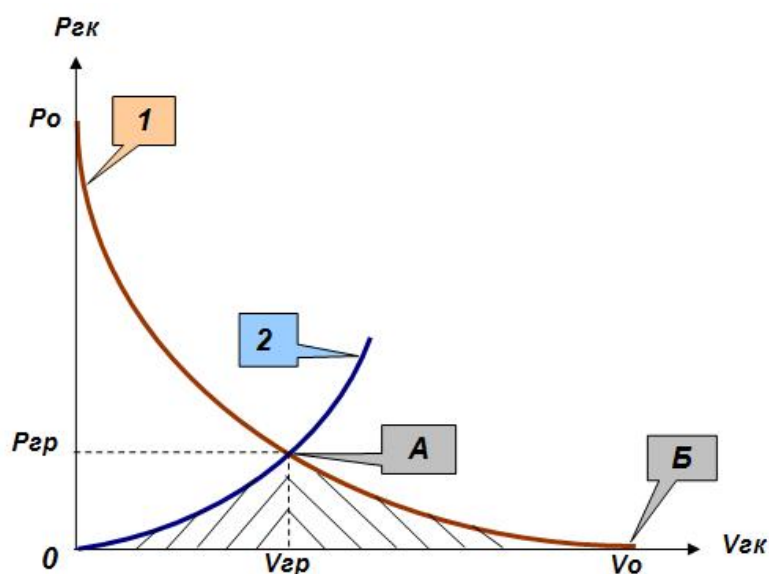


Рисунок 3.4 Зависимость «сила – скорость» применительно к двигательной деятельности гребущей конечности пловца в водной среде, где:

$P_{гк}$  – силовые проявления гребущей конечности;

$V_{гк}$  – скорость движения гребущей конечности;

$P_0$  – максимальная сила гребущей конечности при имитации основной фазы гребка на суше, измеренная в изометрическом режиме;

$V_0$  – максимальная скорость имитации основной фазы гребка на суше;

$P_{гр}$  – силовое проявление в основной фазе гребка в воде;  $V_{гр}$  –

скорость гребущей конечности в основной фазе гребка в воде; 1 –

кривая зависимости сила-скорость гребущей конечности; 2 – кривая,

характеризующая свойства водной среды, когда сопротивление воды

гребущей конечности изменяется по квадратичному закону

Нельзя обойти вниманием значение Закона Хилла при анализе функционирования мышечной системы спортсмена при взаимодействиях со средой не имеющей формы. Наиболее ярко это проявляется в спортивном плавании, где такой средой является вода плавательного бассейна, с которой взаимодействует гребущая конечность пловца.

На рисунке 3.4 показано графическое решение системы уравнений, описывающих зависимость «сила-скорость» гребущей конечности пловца и физические свойства

водной среды, с которой взаимодействует гребущая конечность пловца.

Точка пересечения этих зависимостей  $A$ , показывает, что при скорости гребущей конечности пловца равной  $V_{гр}$ , силовое усилие составило  $P_{гр}$ , и наоборот. При этом следует отметить, что на участке  $OA$  кривой 2 силовые проявления пловца зависят от физических свойств водной среды, а на участке  $AB$  кривой 1, ограничиваются его скоростно-силовыми возможностями. Практически невозможно выполнить гребковое движение на скорости выше  $V_{гр}$ , не прорвав при этом слой воды, в котором выполняется гребок. Поэтому, при силовых взаимодействиях со средой не имеющей формы, всегда существует оптимальная взаимосвязь между силой и скоростью двигательного действия (точка  $A$  графика на рисунке 3.4).

Знание Закона Хилла делает реальным возможность оценить скоростно-силовые качества спортсмена в единицах соразмерных с механической мощностью, ведь произведение силы на скорость есть ни что иное, как мощность движения, а площадь ограниченная осями координат и кривой 1 на рисунке 3.4 и есть суть скоростно-силовых возможностей спортсмена.

### 3.4 Решение уравнения Закона Хилла

При расчетных оценках мощности мышечных систем любых биологических организмов, в том числе и человека, в качестве исходного  $A$ . Хилл рекомендует использовать следующее математическое соотношение скорости и силы:

$$\frac{P_0}{P_{дв}} = \frac{1,25 V_0 / 4}{V_{дв} + V_0 / 4} - 0,25 \quad (3.1)$$

где  $V_0$  и  $P_0$  - максимальная скорость движения руки в эффективной фазе имитации гребка на суше при нулевой нагрузке и максимальное усилие имитации эффективной фазы гребкового движения на суше, измеренное при изометрическом тетанусе соответственно.

Учитывая, что *произведение силы на скорость является мощностью*, то для определения мощности биокинематического звена, в нашем случае гребущей конечности, необходимо было бы вычислить площадь фигуры, образованной кривой 1 и осями координат (рисунок 3.4).

Следует отметить, что зависимость, характеризующая Закон Хилла, для каждого конкретного случая, строится на основе экспериментальных данных. В рассматриваемом случае, кривая 1 была построена на основе 25-ти отдельных измерений, представленных в таблице 1. В силу того, что речь идет не о едином законченном процессе движения, а 25-ти совокупности движений, необходимо говорить не о мощности соответствующей мышечной системы, а уже о некоторой физической величине соразмерной мощности. *И тогда такая физическая величина может всецело охарактеризовать скоростно-силовые возможности гребущих конечностей пловца:*

$$W = \int P dv ,$$

где  $W$  - возможность гребущих конечностей пловца имеющая размерность мощности;

$P = f(v)$  - функция, описывающая Закон Хилла

Для определения скоростно-силовых возможностей гребущих конечностей пловца на суше интегрируем выражение (3.1) в пределах от 0 до  $V_0$  и получаем следующее выражение:

$$W = [0.3125 \cdot P_0 \cdot V_0 \cdot \ln(V + 0,25V_0) - 0,25 \cdot P_0 \cdot V]_0^{V_0} \quad (3.2)$$

Для примера расчета мощности гребущих конечностей пловца можно использовать обобщенные данные, характерные для оценки специальной физической подготовленности квалифицированных пловцов.

Так, например, среднее значение силы тяги на суше, измеренное при изометрическом тетанусе (базовая составляющая такой оценки) находится в пределах до 530 Н.

Таблица 3.1. Исходные данные и константы зависимости сила-скорость-мощность для гребущей конечности пловца

$P_0$ (Н)	$A = P_0/4$	$B = V_0/4$
530	132,5	1,25
$F$ (Н)	$P$ (ватт)	$V$ (м/с)
530,00	0,00	0
438,62	87,72	0,2
369,39	147,76	0,4
315,14	189,08	0,6
271,46	217,17	0,8
235,56	235,56	1
205,51	246,61	1,2
180,00	252,00	1,4
158,07	252,91	1,6
139,02	250,23	1,8
122,31	244,62	2
107,54	236,58	2,2
94,38	226,52	2,4
82,60	214,75	2,6
71,98	201,53	2,8
62,35	187,06	3
53,60	171,51	3,2
45,59	155,01	3,4
38,25	137,69	3,6
31,49	119,64	3,8
25,24	100,95	4
19,45	81,69	4,2
14,07	61,91	4,4
9,06	41,68	4,6
4,38	21,02	4,8
0,00	0,00	5

Если в изометрическом режиме мышечного сокращения скорость движения руки равна нулю, то максимальная скорость движения этой руки в эффективной фазе имитации гребка на суше, при нулевой нагрузке на ее гребущую поверхность, может составить около 5-ти метров в секунду ( $V_0 = 5$  м/сек). Тогда, учитывая, что по отношению к спринтерскому плаванию, эта величина постоянная, подставив ее значение, вместе со значением  $P_0 = 530$  Н в последнем выражении, вычислим показатель характеризующий мощность гребущих конечностей. Приведенные данные выбраны с целью упрощения расчетного примера и соответствуют показателям некоторого среднего квалифицированного пловца – спринтера:

$$W = [0,3125 \cdot 530 \cdot 5 \cdot \ln(V + 0,25 \cdot 5) - 0,25 \cdot 530 \cdot V]_0^5 = \\ = (1517,125 \cdot 662,5) - (184,672 - 0) = 669,9 \text{ Вт}$$

Полученный результат показывает, что для гребущих конечностей пловца, величина – 669,9, выраженная в ваттах, соразмерна мощности и может быть тем главенствующим критерием, который наиболее объективно отражает скоростно-силовые способности не только пловца, но и любого другого спортсмена, чья деятельность связана с максимальными силовыми проявлениями.

### Вопросы для самопроверки

1. Назвать упругие компоненты мышцы.
2. Назвать сократительные компоненты мышцы.
3. Что такое изометрический режим мышечного сокращения (работы).
4. Что такое концентрический режим мышечного сокращения (работы).
5. Что такое плиометрический режим мышечного сокращения (работы).
6. Как влияет внешнее сопротивление (нагрузка) на механические показатели мышечного сокращения.
7. Описать характер зависимости «сила-скорость».
8. Охарактеризовать свойства коэффициентов  $a$  и  $b$  в зависимости «сила-скорость».
9. Каким образом строится зависимость «сила-скорость».
10. Чем отличается теоретическая зависимость «сила-скорость» от реальной.
11. Какие исходные данные необходимы для построения зависимости «сила-скорость».
12. Особенности зависимости «сила-скорость» в двигательных противодействиях спортсменов.
13. Особенности зависимости «сила-скорость» при взаимодействии спортсмена со средой не имеющей формы.
14. Каком образом, с помощью зависимости «сила-скорость», определить скоростно-силовые возможности спортсмена.

15. В каких физических единицах выражаются зависимости «сила-скорость».

### Литература

1. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов – издание седьмое / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 608 с.
2. Донской, Д.Д. Биомеханика: Учеб. для институтов физ. культ. / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский – М.: ФиС, 1979. – С. 38-61.
3. Зациорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека/ В.М. Зациорский, А. С. Аруин, В.Н. Селуянов – М. : Физкультура и спорт, 1981. – 143 с., ил.
4. Иванченко, Е. И. Наука о спортивном плавании. Учебно-методическое пособие /Е.И. Иванченко – Минск: ИПП Госэкономплана РБ, 1993. – 168 с., ил.
5. Коренберг, В.Б. Качественный биомеханический анализ / В.Б. Коренберг. – М.: ФиС, «Наука спорту», 2003. – 218 с., ил.
6. Уткин, В.А. Биомеханика физических упражнений: Уч. пос. для ф-тов физвоспит / В.А. Уткин – М.: Просвещение, 1989. – С. 21-32.
7. Хилл, А. Механика мышечных сокращений / А. Хилл. – М. : Мир, 1972. – 176 с.



## Тема 4. Организация и управление двигательной деятельностью спортсмена

### 4.1 Особенности двигательных действий спортсменов и типы частных действий в спорте

Специфика двигательной деятельности спортсмена определяет конструктивные особенности спортивной техники для реализации поставленных задач. Очевидно, что это предполагает знание биомеханических особенностей организации двигательной деятельности в спорте.

Известно, что организация и реализация движений любой сложности, не только в спорте, но и в повседневной жизни, связана с так называемыми управляющими движениями. Здесь следует различать *главные управляющие движения и корректирующие управляющие движения*. Иллюстрацией может быть кистевой бросок шайбы по воротам, в котором за *главное управляющее движение* преимущественно отвечают мышцы кисти рук и предплечья, за *корректирующие управляющие движения* – мышцы приводящие мизинец руки.

Основная задача *главных управляющих движений* – выполнить заданную программу действий, а корректирующих – компенсировать неточности и ошибки, возникшие в главных управляющих движениях. В сложных двигательных действиях, например в гимнастике, активные действия распределяются по программам поступательного («программа места») и вращательного («программа ориентации») движений. Именно в результате активного изменения позы спортсмен взаимодействует с окружающими предметами, т.е. вызывает появление внешних сил, а также оказывается в состоянии изменить положение (ориентацию) своего тела, используя закон о сохранении кинетического момента. Вышесказанное является только примером. Изменять позу можно и решая другие задачи, когда это совсем необязательно должно влиять на программы поступательного и вращательного движений. Программа позы может состоять и в том, чтобы поза сохранялась неизменной (или неизменной для большей части тела) – это нужно для успешного выполнения ряда двигательных действий или упражнений. Причем не только статических, где это необходимо, но и динамических («динамическая осанка» по В.Т.Назарову). Сохранение динамической осанки позволяет упростить решение двигательной задачи, способствует стабилизации выполнения упражнений. Наряду с управляющими движениями, обеспечивающими механическую сторону двигательных действий, выполняются еще два типа движений, решающих совсем иную задачу. Их называют безразличными, имея ввиду механические характеристики действия, и тактические движения. Первые включают в себя

движения несущие эстетическую нагрузку и случайные движения. Вторые – это обманные, дезинформирующие противника движения (единоборства, спортивные игры) а также движения, направленные на обеспечение эффективной самостраховки, в случае необходимости. Цель таких движений - повысить надежность выполнения упражнения.

Классификация перечисленных и некоторых других двигательных действий приведена на рисунке 4.1.

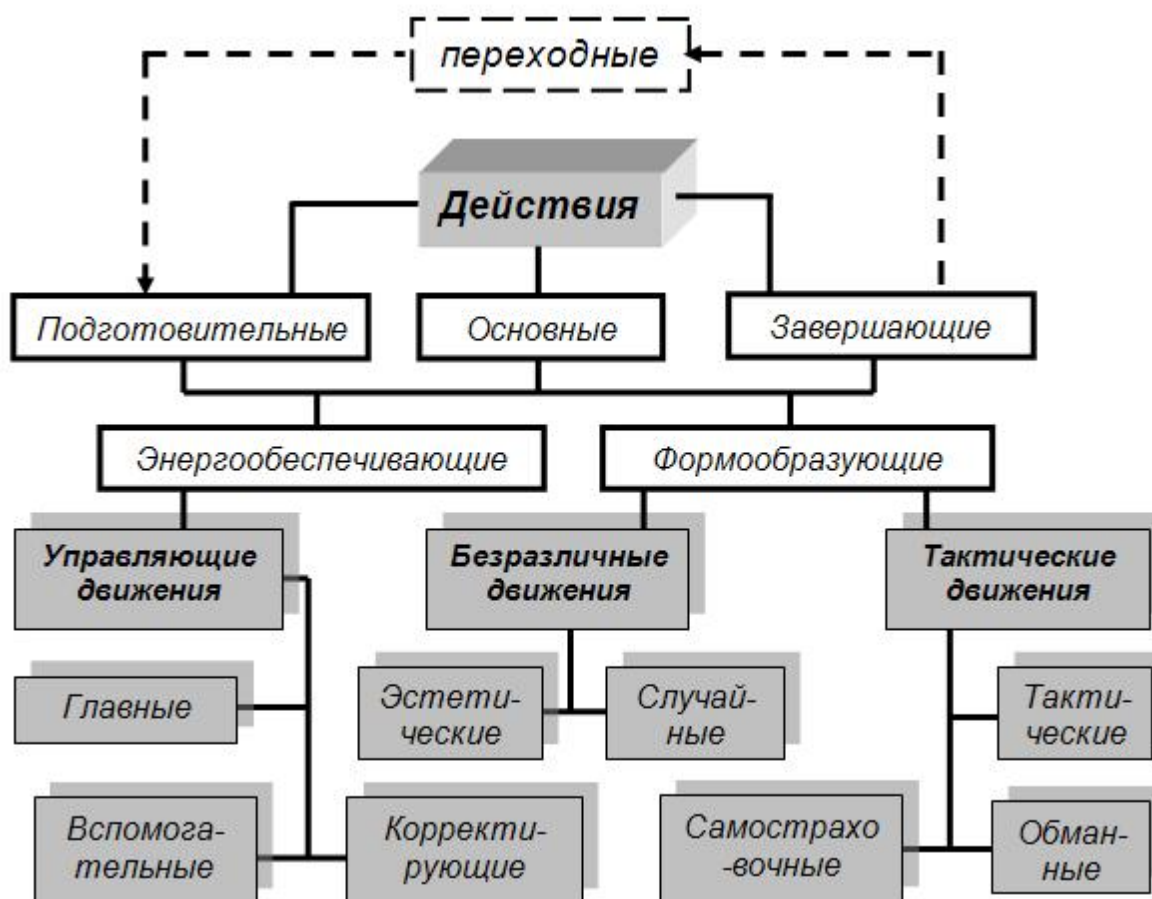


Рисунок 4.1 Состав двигательных действий спортсмена

Для анализа двигательных действий (физических упражнений) с целью изучения их педагогико-биомеханических критериев, требуются конкретные качественные характеристики типов действий. Не определив такие критерии, невозможно создавать качественные технические средства, предназначенные для решения задач спортивной тренировки. Для этого необходимо классифицировать двигательные составляющие сложных движений в виде некоторых частных действий. На рисунке 4.2 приведено классификационное деление частных действий широко используемых в спортивной практике.



Рисунок 4.2 Классификация частных действий в спорте по типам

1-18 – типы частных действий перечисленных в тексте; 19 – статические напряжения; 20 – действия парастатического характера; 21 – предотвращение потери устойчивости в стационарных равновесиях; 22 – то же, но в нестационарных равновесиях;

23 – восстановление устойчивости в стационарных равновесиях; 24 – то же, но в нестационарных равновесиях; 25 – перемена места взаимодействий с опорой; 26 – то же с партнером; 27 – то же с противником; 28 – точностные броски снарядов; 29 – поражение цели рабочей точкой тела или удерживаемого предмета; 30 – максимальные силовые воздействия на перемещаемые снаряды; 31- то же на противника; 32 – махи звеньями тела; 33 – броски; 34 – удары; 35 – амортизация взаимодействия с опорой; 36 – амортизация контакта с перемещающимися телами; 37 – прыжки вверх с места; 38 – то же с прыжка или с разбега; 39 – отталкивания руками; 40 – рывки руками; 41 – пассивные скольжения; 42 – активные скольжения; 43 – шаговые действия без фазы полета; 44 – бег; 45 – прыжки; 46 – опорные повороты; 47 – повороты с безопорной фазой; 48 – опорные переворачивания; 49 – безопорные переворачивания; 50 – управление телом по заданной программе в полете; 51 – то же без заданной программы; 52 – вращение тела вокруг несвободной оси в висячем положении; 53 – то же в упоре.

Частные действия (18), выделенные на рисунке 4.2 обладают следующими особенностями:

1. *Статические напряжения и парастатические действия* – характерны не только для статических и парастатических упражнений спортивной гимнастики и акробатики. Они проявляются также в быстрых динамичных упражнениях (например, динамическая осанка, для сохранения которой мышечные группы работают в режиме значительного статического напряжения) Это имеет место в лыжном, конькобежном спорте, фигурном катании на коньках, фехтовании и т.д.

2. *Сохранение устойчивости тела* – частное, характерное для всех видов спорта.

3. *Изменение места взаимодействия с внешними телами* – эти частные действия обычно сопряжены с изменением сил взаимодействия и их моментов относительно ОЦМ тела. Преобладающей задачей здесь является максимально быстрое установление полноценной связи с внешними телами, например – партнером, противником или опорой. Следует учесть, что в большинстве случаев, подобные действия осуществляются в условиях острого дефицита времени.

4. *Точностные действия* – это броски снаряда с точным «адресом». Это могут быть броски мяча в корзину (баскетбол) или в ворота (гандбол), прицельные удары (теннис, футбол, хоккей), стрельба из лука или спортивного огнестрельного оружия и т. п. Имеются также действия другого подтипа – приведение к цели рабочей точки тела или удерживаемого снаряда. В первом случае следует производить экстраполяцию траектории полета снаряда по траектории его опорного перемещения, во втором перемещение рабочей точки тела (удерживаемого снаряда) и цели, рассчитывая точку встречи максимально точно. В первом случае также приходится экстраполировать перемещение цели, однако требования к точности здесь ниже.

5. *Выразительные действия*. В ряде видов спорта большое значение имеют формирование и сохранение эстетически законченных, выразительных поз, которые могут иметь большой или малый размах, выполняться мелкими или крупными звеньями тела, одним звеном или согласовано многими звеньями. В фигурном катании на коньках и в вольных упражнениях (художественная гимнастика, акробатика, спортивная гимнастика) выразительные действия играют особенно важную роль и тесно связаны с музыкальным сопровождением.

6. *Максимальные силовые воздействия на перемещаемые тела*. Здесь следует рассматривать два принципиально различных случая: 1) – воздействие на тяжелый снаряд (штанга, молот, ядро) или на партнера (акробатика, парное фигурное катание на коньках) и 2) – воздействие на противника (борьба, хоккей, футбол). Взаимодействия могут быть краткими (толчок в хоккее, бросок в борьбе) и сравнительно длительными (метание молота, силовые приемы в борьбе, борьба за шайбу у борта в хоккее). Максимальные силовые воздействия часто сочетаются с баллистическими

действиями, отличаясь от них главным образом меньшими скоростями суставных движений в главной кинематической цепи и не столь быстро развиваемым напряжением мышц в начале движения. Нередко сопровождаются они и действиями парастатического характера.

7. *Баллистические действия* – частные действия, сопряженные с баллистической работой мышц. Это быстрые, энергичные махи руками или ногами (например, хлесты ногами в упражнениях на перекладине), легкоатлетические метания легких снарядов, сильные неприцельные броски (броски, при выполнении которых превалирует задача сообщения снаряду высокой скорости, задача же попадания в цель отодвинута на второй план), сильные неприцельные удары по мячу, удары боксера.

8. *Амортизация мощных взаимодействий с другими телами.* Задача амортизации чаще всего возникает при приземлениях, но не только. В спортивных играх необходимо остановить летящий мяч, в борьбе – противостоять натиску противника, в спортивной гимнастике – смягчить рывок в висячем положении и т. п. В некоторых видах спорта ставятся более тонкие задачи – амортизация при прохождении лыжником бугра на спуске (за счет сгибания ног) позволяет избежать потерю контакта с опорной поверхностью. То же, когда амортизация при блокировке мяча в волейболе позволяет избежать его выхода за пределы площадки противника.

9. *Отталкивания ногами.* К таким действиям относятся: прыжки в спортивных играх, прыжки на батуте, в воду, в фигурном катании на коньках, опорные прыжки, ряд прыжков в вольных упражнениях, на бревне, наскоки на гимнастические снаряды.

10. *Отталкивание и рывки руками.* Отталкивание для отдаления тела от опоры или для сообщения ему вращательного движения – частные действия, широко применяемые в спортивной гимнастике и акробатике. Энергичные рывки руками, цель которых – сообщить телу некоторое количество движения по направлению к месту хвата за снаряд, – сравнительно узкий круг действий в спортивной гимнастике.

11. *Скольжения* – движения связанные с перемещением по льду, снегу, воде (на водных лыжах), а также по специальным скользким поверхностям. Различаются активное и пассивное скольжение. Первое связано с наращиванием и поддержанием скорости активными движениями звеньев тела, второе – со скольжением по инерции или под действием внешних сил (под уклон на лыжах, за счет тяги катера – на водных лыжах).

12. *Плавание.* Особенностью плавания, с точки зрения механики, является использование нелинейного характера зависимости сопротивления воды перемещению тела пловца от его скорости. Другая особенность – значительное сопротивление водной среды движущемуся в ней телу спортсмена. Кроме того, необходимо создать специальные условия, для обеспечения эффективного внешнего дыхания.

13. *Шаговые действия.* К ним относятся любые виды ходьбы и бега,

прыжки с отталкиванием одной ногой. Эти частные действия существенно отличаются друг от друга, но основа, с точки зрения биомеханики, у них общая.

*14. Повороты.* К частным действиям такого типа относятся повороты (вращение тела вокруг его продольной оси), выполняемые на опоре (например, на носке или в стойке на руках). Существуют также повороты, которые в известной своей части происходят в безопорном состоянии, но в основном лишь в порядке продолжения поворота, начавшегося перед этим еще в опорном состоянии, за счет взаимодействия с опорой.

*15. Переворачивания* – это действия, связанные с вращением тела вокруг горизонтальной оси (кроме опорных переворачиваний, отнесенных к вращениям тела вокруг несвободной оси). Эти действия характерны для прыжков на батуте и прыжков в воду, для акробатики и спортивной гимнастики.

*16. Действия в длительном полете.* Поскольку траектория перемещения ОЦМ тела в фазе полета предопределена предшествующими действиями, спортсмен может управлять только вращательным движением тела и позой. Управление ими представляет тесно взаимосвязанные процессы: именно за счет движений звеньев тела друг относительно друга, спортсмен управляет скоростями его вращения вокруг различных осей и ориентацией в пространстве. Действия в длительном полете обязательно сопряжены и с решением другой задачей – созданием условий для оптимизации предстоящего контакта с опорой.

*17. Вращения вокруг несвободной оси.* Этот тип частных действий составляет основу большей части двигательных действий в упражнениях на гимнастических снарядах. Сюда включаются действия, связанные с вращением тела вокруг поперечной или переднезадней оси (независимо от величины поворота) при наличии связи рук со снарядом. Вращения вокруг вертикальной оси тела в данную группу не входят.

*18. Ситуационные действия.* Это очень широкий круг частных действий, связанных с реакцией на непредсказуемые ситуации. Такие действия осуществляются, например при внезапно возникшей опасности травмы. В ряде же видов спорта (единоборства, спортивные игры) они представляют значительную часть выполняемых действий. В видах спорта связанных с движущимися техническими средствами (мотоциклетный, автомобильный, бобслей, парусный и др.), эти действия являются основными, поскольку роль мышц в энергообеспечении движущегося технического средства минимальна или вообще сводится к нулю (лишь мотоциклист во время кросса иногда вынужден помогать движению машины отталкиваясь ногами). Главной задачей ситуационных действий человека является обеспечение эффективного управления этими техническими средствами.

В процессе изучения особенностей двигательных действий и движений,

необходимо помнить, что именно эти особенности являются основополагающими при составлении технических требований на разработку спортивного оборудования.

#### 4.2 Двигательная система спортсмена – как система организации и управления движениями

Поскольку человек – чрезвычайно сложная система с точки зрения организации и управления двигательной деятельностью, определение это остается в силе даже в том случае, если отбросить такие её компоненты, как мотивацию, выбор цели, определение стратегии, оценку результатов и т. п. Рассматриваемая система остается чрезвычайно сложной даже при ограничении её функций решением конкретных, двигательных задач с заранее определенными путями их решения.

Простыми системами во многих случаях, можно успешно управлять двигательными действиями по схемам, изображенным на рисунке 4.3.

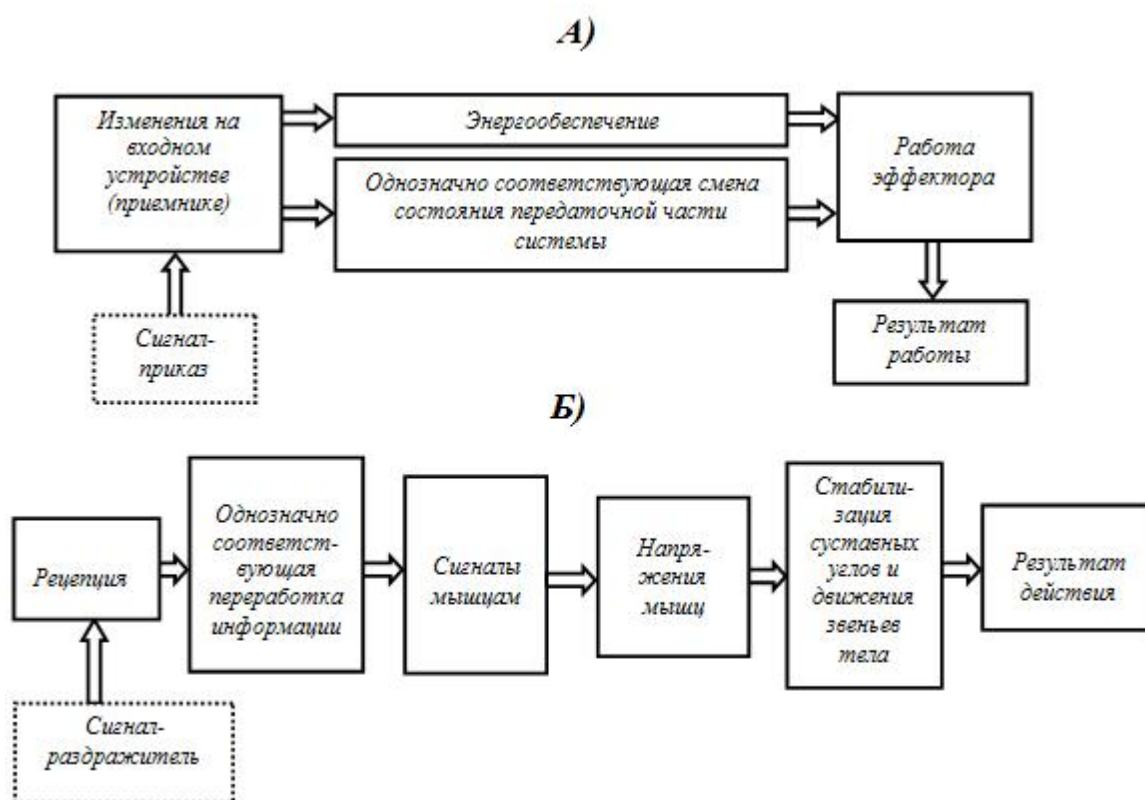


Рисунок 4.3 Простейшие варианты организации управления движениями  
 А) – обобщенная, максимально упрощенная система организации управления движениями  
 Б) - упрощенная система организации управления движениями применительно к двигательной деятельности человека

Всеобщее признание кибернетических взглядов на управление движениями (сформулированные Н.А. Берштейном и П.Винером) привело к тому, что представления об управлении движениями включили в себя понятие «обратная связь». Введение этого понятия в реализацию системы

управления движениями отражено на рисунке 4.4.

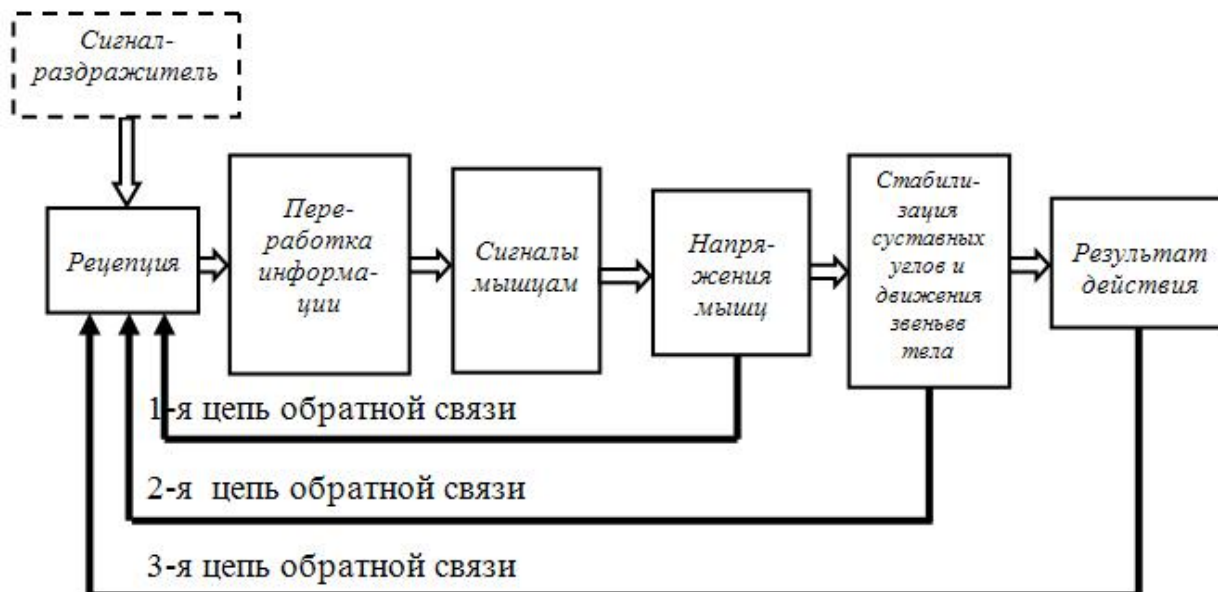


Рисунок 4.4 Система организации управления движениями применительно к двигательной деятельности человека с совокупностью цепей обратной связи

По мере совершенствования представлений о системе управления организацией движений человека стало ясно, что нельзя обойтись без процесса *сличения* реального хода движений и получаемого их результата с тем, что намечалось произвести (с программой движений и их результатов). Наряду с Н.А. Берштейном, в несколько иной форме, об этом говорил П.К. Анохин по поводу концепции «*акцептора действия*». Одна из такого рода схем была предложена Л.В. Чхаидзе (рисунок 4.5). Особенность ее состоит в том, что она содержит две цепи *обратной связи*, «*внешнее кольцо*» и «*внутреннее кольцо*». Внешнее кольцо функционирует на базе «органов внешних чувств», т.е. анализаторов контролирующих взаимодействия организма с внешней средой, а внутреннее – на базе проприорецепторов и интерорецепторов, т.е. опираясь на работу внутренних анализаторов, контролирующих движения. По мысли автора схемы, внешнее кольцо обратной связи обеспечивает контроль результата движений, внутреннее – контроль самих движений.



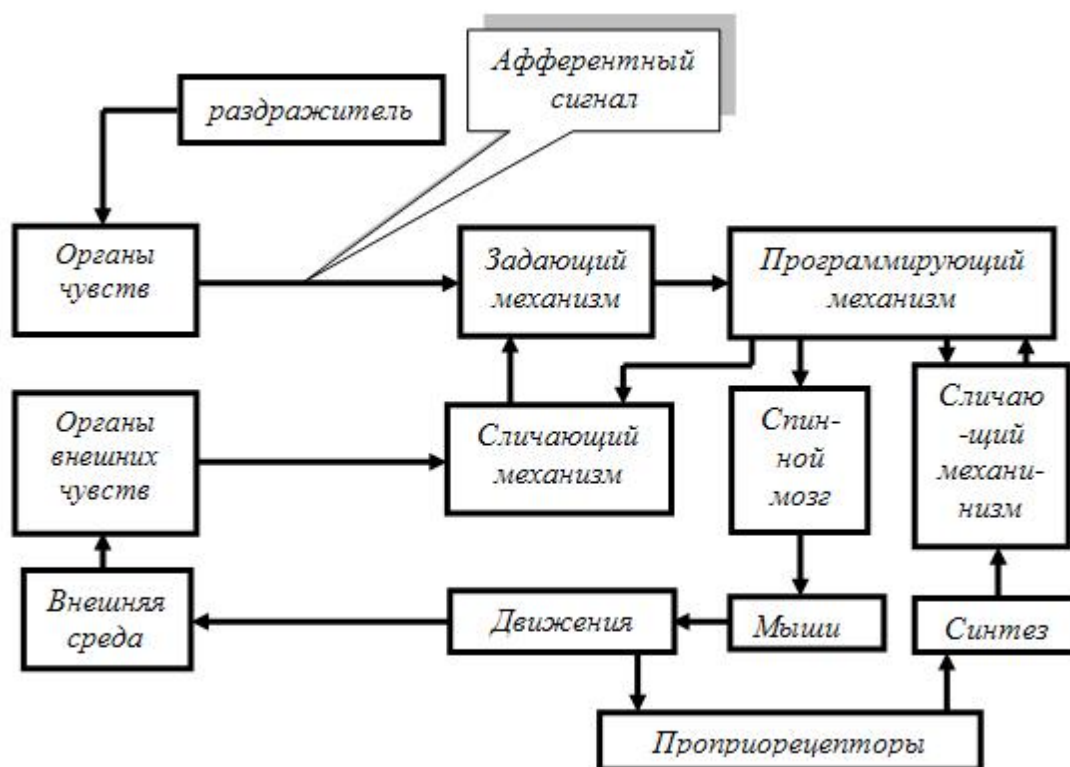


Рисунок 4.5 Управление движениями по Л.В. Чхаидзе

Несмотря на то, что блоки системы управления движениями представляют, не функциональные блоки, как показано на рисунке 4.4, а системы организма, ценность такой системы заключается в удобстве «технизации», с целью моделирования процессов управления движениями.

### 4.3 Афферентная информация при организации и управлении двигательной деятельностью спортсмена

У человека обратная связь при решении двигательных задач осуществляется через анализаторы. И.П. Павлов называл их более точно – «систез-анализаторами». Анализаторы осуществляют не только анализ различных раздражений из внешней и внутренней среды, но и синтез ощущений в восприятии. Через анализаторы все время проходит непрерывный поток информации, позволяющей человеку ориентироваться во внешней среде и в состоянии собственного организма, в том числе и во взаимном расположении звеньев тела и характере их движений, в величине напряжения мышц и т. п.

Вместе с тем, значительная часть информации с анализаторов, не имеет отношения к контролю над решением стоящей в данный момент двигательной задачи (даже в тех случаях, когда решение ее сопряжено с трудностями, когда она имеет важное значение, как например в соревнованиях) – это ощущение холода или тепла, света, восприятие шума, и

даже выкриков отдельных болельщиков и многое другое. В то же время спортсмен активно воспринимает информацию, необходимую для решения последующих двигательных задач. Следовательно, анализаторы обеспечивают получение спортсменом информации самого различного рода, даже ненужной и мешающей ему. В связи с этим, нужно ориентироваться и различать функционально разнородные компоненты информации, поступающей во время выполнения двигательного действия. Такие различия нашли свое отражение в системе афферентной информации, поступающей от анализаторов и воспринимаемой центральной нервной системой спортсмена, приведенной на рисунке 4.6.

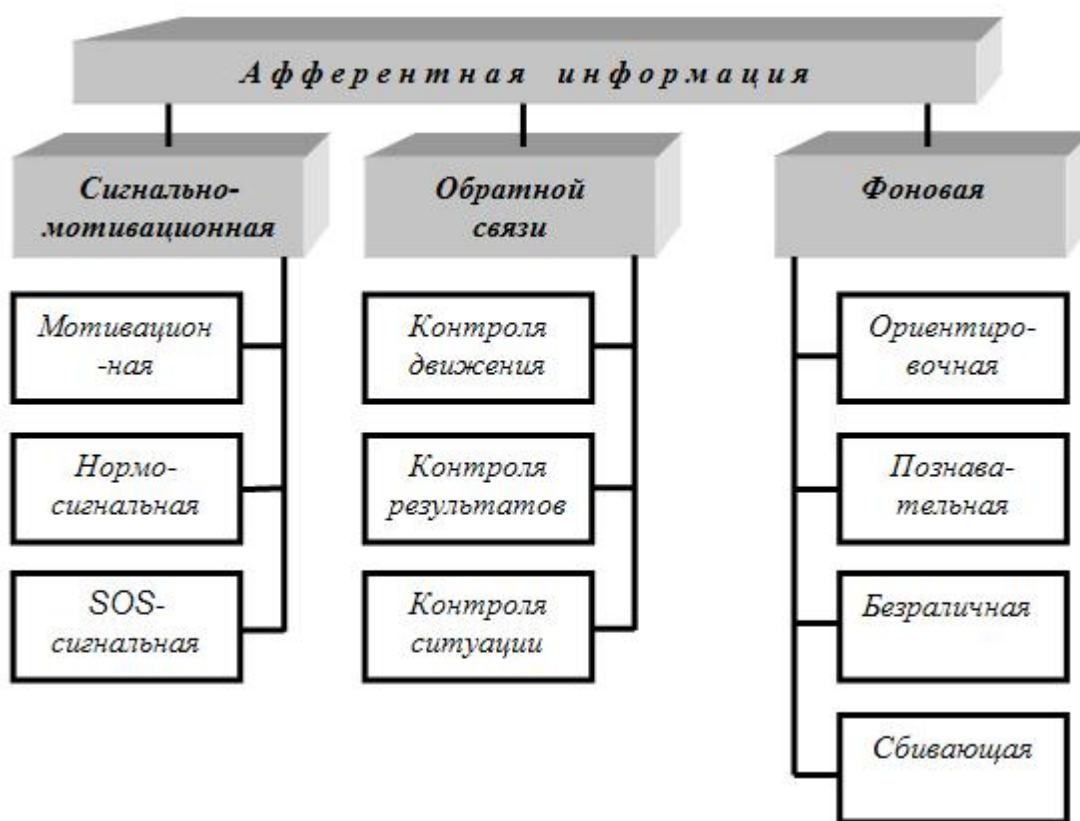


Рисунок 4.6 Афферентная информация, воспринимаемая центральной нервной системой спортсмена

*Информация обратной связи* относится к контролю за выполнением движений звеньями тела и всем телом, над перемещением предметов, партнеров или противника, над развитием ситуации, включая её прогнозирование, потому как это связано с выполняемым двигательным действием или серией двигательных действий. На рисунке 4.6 каждый из трех названных компонентов выделен отдельным блоком, как и другие компоненты.

*Сигнально-мотивационная информация* – это часть воспринимаемой информации, которая обеспечивает мотивацию двигательных действий (побуждение выполнить их), «пусковой» сигнал к действию, а также и оценку

опасной ситуации в случае её возникновения с сигналом к аварийным действиям – к самостраховке.

*Фоновая информация* - это вся остальная информация. Её составляющие: ориентировочная информация, позволяющая спортсмену ориентироваться в окружающей обстановке; познавательная информация делает возможным накапливать различные знания; безразличная информация, не представляющая для спортсмена в данный момент никакого интереса, которую он воспринимает как бы попутно; сбивающая информация.

Следует помнить, что афферентная информация об изменениях во внешней среде поступает спортсмену посредством *зрительных, слуховых и тактильных анализаторов*, во внутренней среде – с механорецепторов (проприорецепторов), информирующих об изменениях пространственного положения звеньев тела относительно самого тела, а также соответствующих изменений мышечных напряжений.

Представленное описание системы управления движениями вполне достаточно чтобы «технизировать» эту систему. *Технизировать* – это значит подобрать для такой системы подходящий аналог из области систем автоматического регулирования, ведь в этих двух случаях функциональные элементы и блоки таких систем решают одинаковые задачи. Только, в первом случае происходит управление биологическими процессами, во втором – техническими средствами.

К примеру, движения спортсмена, *при двигательных взаимодействиях, организованы по принципу синхронно-следающей системы с элементами автокоррекции*. Здесь, точно также, в обоих случаях, отражается внешнее возмущение (отклонение от нужного в данный момент параметра, или ситуации в спорте), происходит сличение такого отклонения с заданными параметрами, затем вырабатывается сигнал рассогласования и вводится в действие управляющий (корректирующий) механизм.

В *синхронно-следающих системах* управляющее воздействие также как ситуация в двигательных взаимодействиях, является величиной переменной, но математическое описание его во времени не может быть установлено, так как источником сигнала служит внешнее явление, закон изменения которого заранее неизвестен. В качестве примера следающей системы можно указать на радиолокационную станцию автоматического сопровождения самолёта. Так как следающие системы предназначены для воспроизведения на выходе управляющего воздействия с возможно большей точностью, то ошибка, так же как и в случае систем программного регулирования, является той характеристикой, по которой можно судить о динамических свойствах следающей системы. Ошибка в следающих системах, как и в системах программного регулирования, является сигналом, в зависимости от величины которого осуществляется управление исполнительным двигателем. В циклических и сложно-координационных видах спорта движения спортсмена организуются по принципу системы программного

регулирования, где системы программного регулирования отличаются тем, что управляющее воздействие изменяется по заранее установленному закону в функции времени или координат системы. О точности воспроизведения управляющего воздействия на выходе системы воспроизведения судят по величине ошибки, которая определяется разность между управляющим воздействием и регулируемой величиной в данный момент времени.

В видах спорта, где необходимо сохранять равновесие, постоянную дистанцию, направление движения, постоянное мышечное напряжение, спортсмен организует себя по принципу системы автоматической стабилизации, где системы автоматической стабилизации характеризуются тем, что в процессе работы системы управляющие воздействием остаются величиной постоянной. Основной задачей системы автоматической стабилизации является поддержание на постоянном уровне с допустимой ошибкой регулируемой величины независимо от действующих возмущений. Действующие возмущения вызывают отклонение регулируемой величины от предписанного ей значения. Отклонением регулируемой величины называется разность между значением регулируемой величины в данный момент времени и её значением, принятым за начало отсчёта. Понятие отклонения регулируемой величины является характерным для систем автоматической стабилизации и позволяет дать качественную оценку динамическим свойствам систем этого класса. Системами автоматической стабилизации являются различного рода системы автоматического регулирования (САР), предназначенные для регулирования скорости, напряжения, температуры, давления; например, стабилизатор курса самолёта и т.д.

### **Вопросы для самопроверки**

- 1.Объяснить сущность главных и корректирующих управляющих движений.
- 2.С чем связаны «программа места» и «программа ориентации».
- 3.Что такое «динамическая осанка».
- 4.Перечислить основные типы движений, определяющие двигательные действия спортсмена.
- 5.Охарактеризовать формы основных типов движений, определяющих двигательные действия спортсмена.
- 6.Назвать критерии типологии частных двигательных действий спортсмена.
- 7.Перечислить типы частных двигательных действий.
8. Дать характеристику типам частных двигательных действий.
- 9.Что такое обратная связь в системе управления движениями человека
- 10.Нарисовать одну из схем организации движений человека.
- 11.Что такое афферентная информация.

12. Что является информацией обратной связи.
13. Что такое сигнально-мотивационная информация.
14. Что такое фоновая информация.
15. Охарактеризовать свойства автоматической синхронно-следающей системы.
16. Охарактеризовать свойства автоматизированной системы программного регулирования.
17. Охарактеризовать свойства системы автоматической стабилизации.

### **Литература**

1. Воронов, А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления / А.А. Воронов, В.К. Титов, Б.Н. Новоградов. – М.: «Высшая школа», 1977. – 519 с.
2. Донской, Д.Д. Движения спортсмена: Очерки по биомеханике спорта / Д.Д. Донской. – М.: Физкультура и спорт, 1965. – 199 с.
3. Коренберг, В.Б. Качественный биомеханический анализ / В.Б. Коренберг. – М.: «Наука спорту», 2003. – 218 с.
4. Лукас, В.А. Теория автоматического управления / В.А. Лукас. – М.: «Недра», 1990. – 416с.
5. Первозванский, А.А. Курс автоматического управления / А.А. Первозванский. – М.: «Наука», 1986. – 367 с.
6. Подлесный, Н.И. Элементы систем автоматического управления и контроля./ Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов – Киев.: «Вища школа», 1982. – 477 с.
7. Сальченко, И.Н. Двигательные взаимодействия спортсменов / И.Н. Сальченко. – Киев .: Здоров'я, 1980. – 112 с.
8. Сотский, Н.Б. Биомеханика: учеб. для студентов специальности «Спорт.-пед. деятельность» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования – 2-е изд., испр. и доп./ Н.Б. Сотский. – Мн.: БГУФК, 2005. – 192 с.
9. Ципкин, Я.З. Основы теории автоматических систем / Я.З. Ципкин – М.: «Наука», 1977. – 436 с.

## **Тема 5. Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы**

### **5.1 Биометрическая входная информация, основанная на антропометрических показателях спортсмена**

Любое специальное техническое средство, используемое в спортивной тренировке либо средство оперативного контроля за состоянием подготовленности спортсмена, представляют собой своеобразную систему регулирования. При функционировании такой системы, на ее входе всегда присутствует некоторая входная величина в виде действия спортсмена, либо программируется подобное действие, в результате чего на выходе, проявляется реакция на это действие или на программу действий. У преобладающего большинства спортивной техники предназначенной для спортивной тренировки входной величиной является физическое изменение силы, положения в пространстве, изменения физического функционального, эмоционального состояния, информация о которых имеет выраженность через изменение соответствующих уровней или баллов. У отдельной категории такого оборудования, входная величина характеризуется изменением ситуации, количества и вида информации. Существует также категория оборудования, где входной величиной является биометрические особенности организма спортсмена. Поэтому, при создании техники для спортивной тренировки, крайне важно знать особенности двигательных действий и состояний спортсмена. И в соответствии с этим, знать особенности элементов спортивной техники, и как такие элементы реагируют и формируют отклик на свои входные величины.

Среди множества объектов рассматриваемых при проектировании спортивной техники особое место занимают разделы морфологии, связанные с измерением тотальных размеров тела (рисунок 5.1)

Здесь, выделяют весовые и пространственные размеры. Из весовых – массу тела, из пространственных – линейные размеры длины тела и обхват грудной клетки. К объемным размерам относят объем тела или его звеньев, к поверхностным – поверхность тела, или поверхность его отдельных звеньев. Кроме того необходимо знать соотношение тотальных размеров тела.

При изучении пропорций тела необходимо выделять тип пропорций, продольные целые, а также частичные размеры тела, поперечные и обхватные размеры сегментов тела, ориентированные в различных плоскостях и оцениваемые различными физическими величинами (рисунок 5.2).

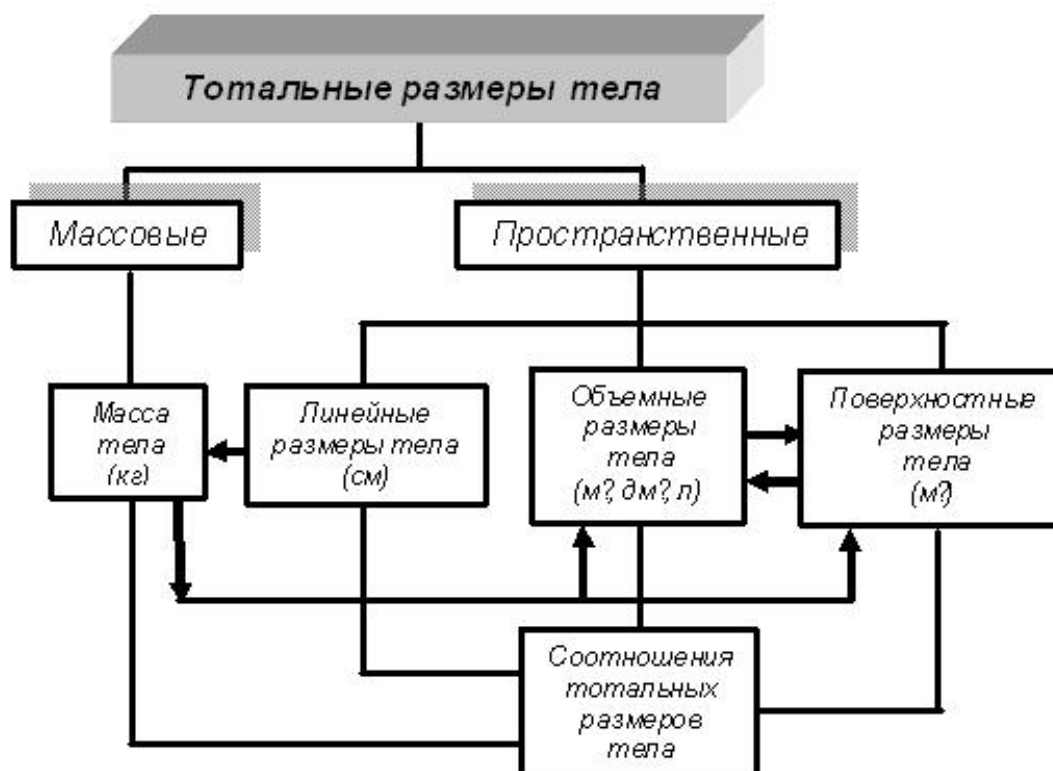


Рисунок 5.1 Классификация и функциональные связи тотальных размеров тела (стрелками обозначены функциональные связи)

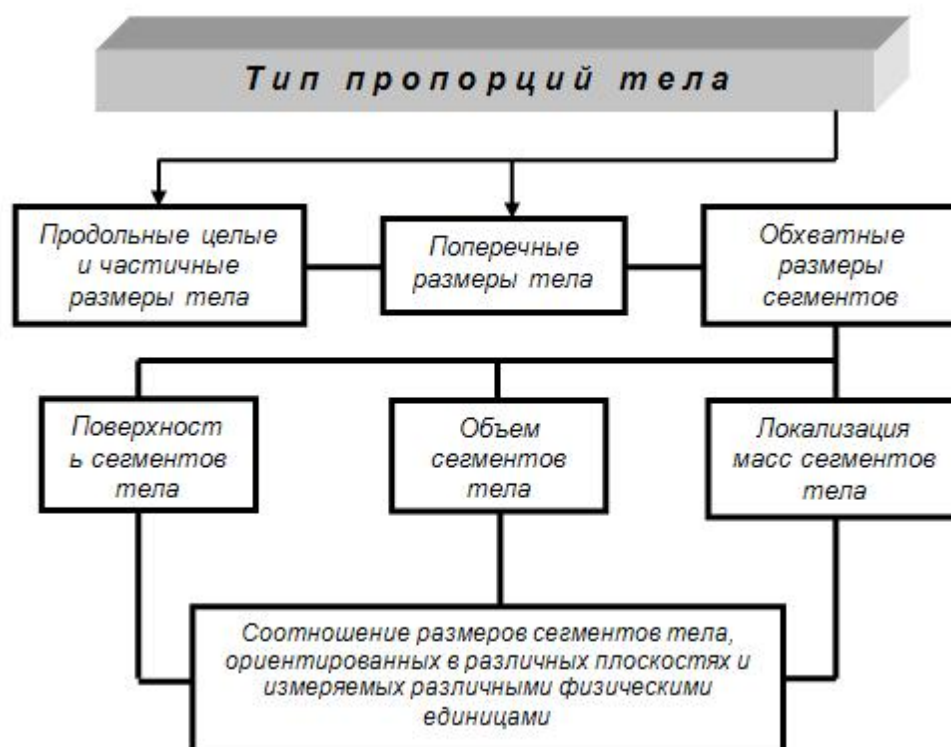


Рисунок 5.2 Компонентные разделы изучения пропорций тела

На рисунке 5.3 приведены лабильные, метаболически активные показатели состава массы тела, которые представляют интерес при определении тренированности, работоспособности, прогнозировании результата, адаптации к различным нагрузкам и способности к

ВОССТАНОВЛЕНИЮ.

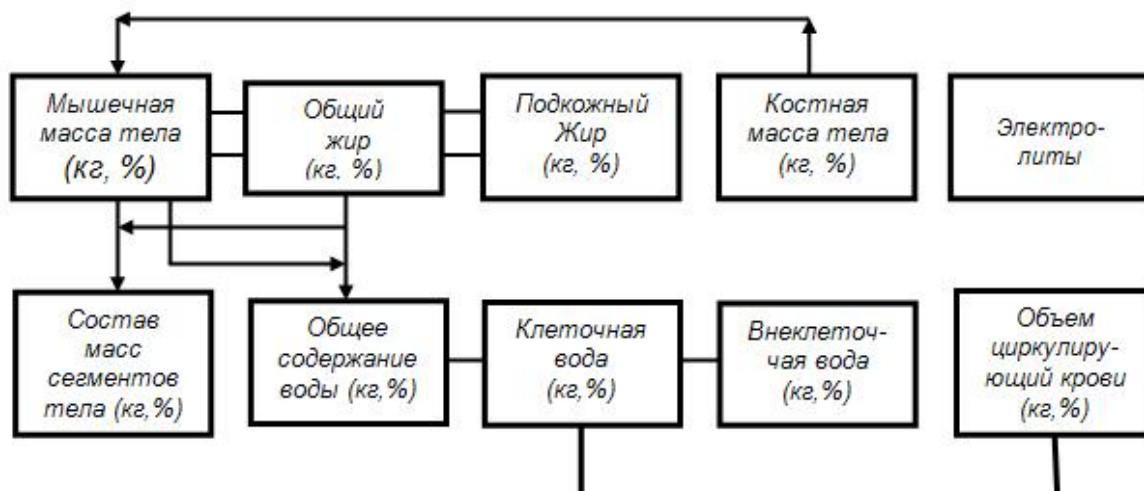


Рисунок 5.3 Классификация и функциональные связи показателей состава массы тела

На рисунке 5.4 показана некоторая иерархия основных соматологических показателей спортивного мастерства, учет которых имеет важное значение при проектировании спортивной техники. Такими показателями являются соматологический тип спортсмена, состояние позвоночного столба и его отделов, состояние стопы, строение суставов и подвижность в них, мышечная сила и удельный вес тела.

В настоящее время, все больший интерес разработчиков изделий спортивного назначения привлекают вопросы взаимосвязей морфологических и функциональных показателей, проблемы оценки генетической детерминации конституции спортсменов, вопросы строения и функции опорно-двигательного аппарата. Необходима, также и объективная оценка физического развития спортсменов и многие другие вопросы, а это невозможно без создания совершенной исследовательской аппаратуры и ее комплексов.



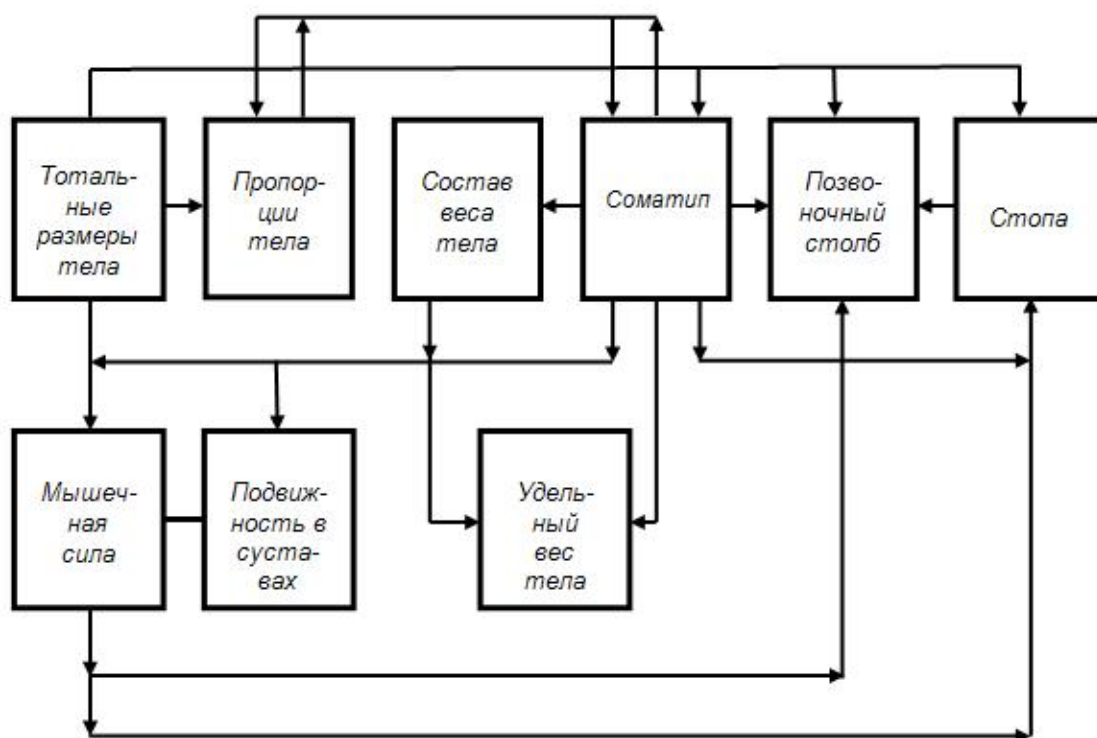


Рисунок 5.4 Иерархия основных соматологических показателей спортивного мастерства

## 5.2 Входная информация, основанная на пространственных показателях двигательных действий спортсмена

В природе любое механическое движение связано с приложением действующей силы. Чем больше такая сила, тем больше его ускорение и соответственно траектория перемещения тела в пространстве. Потому так важно иметь информацию об особенностях таких перемещений. Для этого, существует метод исследования под названием механография и соответствующее устройство – *механограф*, при помощи которого можно получать пространственно-временные характеристики механических движений спортсменов.

Механография в спорте – регистрация специфического спортивного движения в виде графической записи этого движения, как функции времени, либо в виде цифрового отражения этого движения в конкретные моменты времени. В механографе перемещающаяся точка тела спортсмена, или его звена, соединяется малорастяжимой нитью с осью (движком) потенциометрического датчика. Движения с большой амплитудой могут быть зарегистрированы, если движок потенциометра соединить с валом барабана (блоком) соответствующего диаметра, на котором уложен виток малорастяжимой нити. Здесь может быть прямолинейное движение тела спортсмена или его звеньев, либо движение по дуге окружности, что характерно для движений в сочленениях тела (суставах). В первом случае, когда имеет место прямолинейное движение, – первичный преобразователь

(датчик) может связываться с точкой исследуемого движения, через редукторы, барабаны, рычажно-блочные системы, либо посредством блоков или рычагов в отдельности. Необходимым условием, работы механографа, является согласование амплитуд или траекторий движения звена, протяженностей путей перемещения тела спортсмена, снарядов с которыми он взаимодействует, с амплитудно-частотной характеристикой выбранного первичного преобразователя.

Во втором случае, – это гониометрия, когда происходит измерение углов в сочленениях тела человека. Ведь, именно суставной угол и его изменение являются основой биомеханической характеристики движения, к примеру, от определения программы позы, до изменения положения звена тела или спортивного снаряда в пространстве. От суставного угла зависит и динамическая характеристика движения, определяемая через силу тяги мышцы (то есть ее длина и ее плечо относительно оси сустава). Если в качестве примера в гониометре используется линейный потенциометрический первичный преобразователь, необходимо, чтобы амплитуда (размах) специфического спортивного движения соответствовала величине перемещения движка преобразователя. Тогда, если у преобразователя значительная и высокоомная нагрузка, то справедливо следующее соотношение:

$$\frac{U_{вых}}{U_0} = \frac{r}{R_0}, \quad \text{или} \quad U_{вых} = U_0 \frac{r}{R_0}.$$

Здесь  $U_0$  и  $R_0$  – постоянные величины. Чтобы выходное напряжение  $U_{вых}$  было пропорционально перемещению движка, величина перемещения движка  $X$  должна быть пропорциональна сопротивлению  $r$ , т.е. рабочий элемент потенциометра должен быть строго линейным:

$$\frac{r}{R_0} = \frac{x}{L_0}$$

Тогда

$$U_{вых} = U_0 \frac{X}{L_0} = KnX$$

где,

$L_0$  – полное перемещение движка;

$Kn$  – коэффициент преобразования или масштабный множитель.

Размерность этого коэффициента преобразования определяется характером перемещения движка и измеряется в  $в/см$  или  $в/град$ .

Если путь  $L$ , на который переместилась исследуемая точка, представлен не как пропорциональное выходное напряжение

потенциометрического датчика  $U_{вых}$ , а в виде последовательности счетных импульсов с частотой  $f$ , поступающих с выхода стробоскопического фотоэлектрического датчика, то скорость перемещения исследуемой точки  $v = df/dt$ . Тогда путь пройденный этой точкой, пропорционален количеству зафиксированных счетных импульсов:

$$n = \int_0^t f dt$$

сам путь равен  $L = 2\pi Rn$ ,

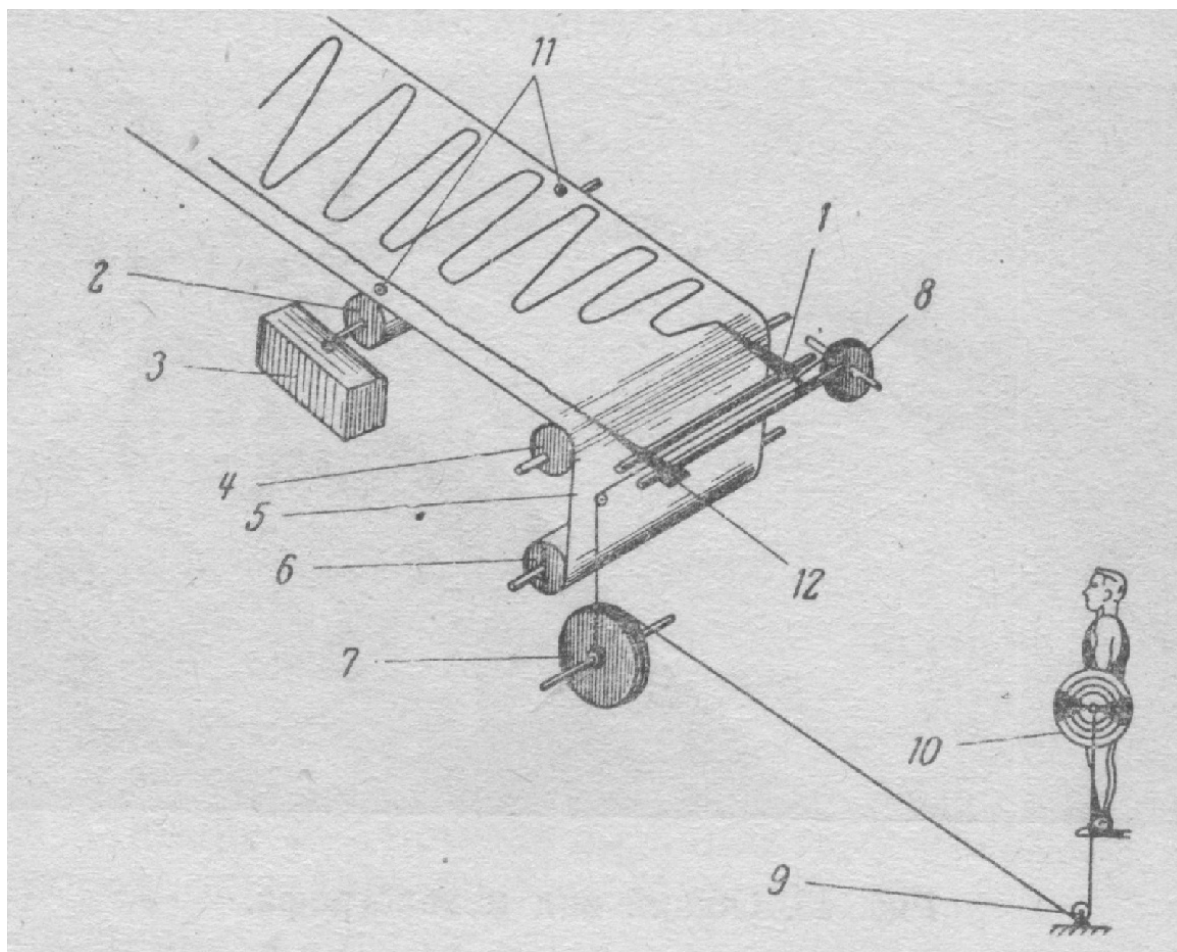
где  $R$  – радиус ролика, на который наматывается нить, связывающая механограф, с исследуемой в движении точкой. Тогда изменение частоты следования счетных импульсов будет пропорционально ускорению движения исследуемой точки

$$a = d^2 f / dt^2$$

Здесь, следует обратить внимание, что при малых траекториях движения точки, предпочтительнее использовать, например, потенциометрические датчики или их аналоги, – на значительных траекториях, где нет ограничений биомеханического характера, необходимо устанавливать цифровой тахометрический датчик.

В качестве классического примера следует рассмотреть конструкцию механографа, широко использовавшегося в свое время, для исследования двигательных действий в тяжелой атлетике.

Подобный механограф, конструкция которого схематично изображена на рисунке 5.5, дает возможность получить данные о высоте подъема штанги, скорости ее перемещения, величине усилий в различных фазах подъема, а также мощности развиваемой спортсменом при выполнении упражнений с подъемом тяжестей.



**Рисунок 5.5. Механограф для контроля технической подготовленности штангистов**  
 1 – термическое перо; 2 – ролик движения носителя информации (термочувствительная бумага); 3 – электропривод ролика подачи носителя информации; 4 – записывающий ролик; 5 – термочувствительная бумага (носитель информации); 6 – носитель информации в рулоне; 7 – редуктор; 8 – катушка возвратного механизма термического пера; 9 – блок с тяговой нитью; 10 – штанга; 11 – катки для прижима термочувствительной бумаги к поверхности ролика подачи; 12 – отметчик времени

Работа механографа начинается с подачи спортсмену сигнала о готовности к действию с одновременным движением термочувствительной бумаги 5, с нанесенной на ней масштабной сеткой (носителем информации), через ролик 2, на записывающий ролик 4. Сама термочувствительная бумага в смотанном состоянии находится в рулоне 6. Ролик движения 2, совместно с катками 11, прижимающими термочувствительную бумагу к его поверхности, подает ее исследователю для анализа. Скорость движения носителя информации 5 (термочувствительной бумаги) зависит от режима работы электропривода ролика подачи 3, и может составлять 50 мм/с или 100 мм/с. После соответствующей команды начинается движение штанги 10, которое отслеживается движением термического пера 1 по поверхности носителя информации 5. Термическое перо 1, неподвижно закрепленное на каретке с прикрепленными к ней тяговыми нитями, перемещается по параллельным направляющим. Это происходит в результате натяжения тяговой нити огибающей блок 9 при движении штанги 10 вверх. Возвратное движение каретки термического пера 1 (движение штанги вниз)

осуществляется натяжением нити катушки возвратного механизма 8. Согласование амплитуд движения штанги 10 и каретки термического пера 1 осуществляется двухступенчатым барабаном тяговых нитей 7, диаметры ступеней, которого находятся в соотношении – 100 миллиметров движения штанги, к 1,0 миллиметру движения каретки с закрепленным на ней термическим пером 1.

Рассматривая пример, где проводилось контрольное тестирование (рисунок 5.6), установлено, что высота первого повторения соответствует отрезку СВ.

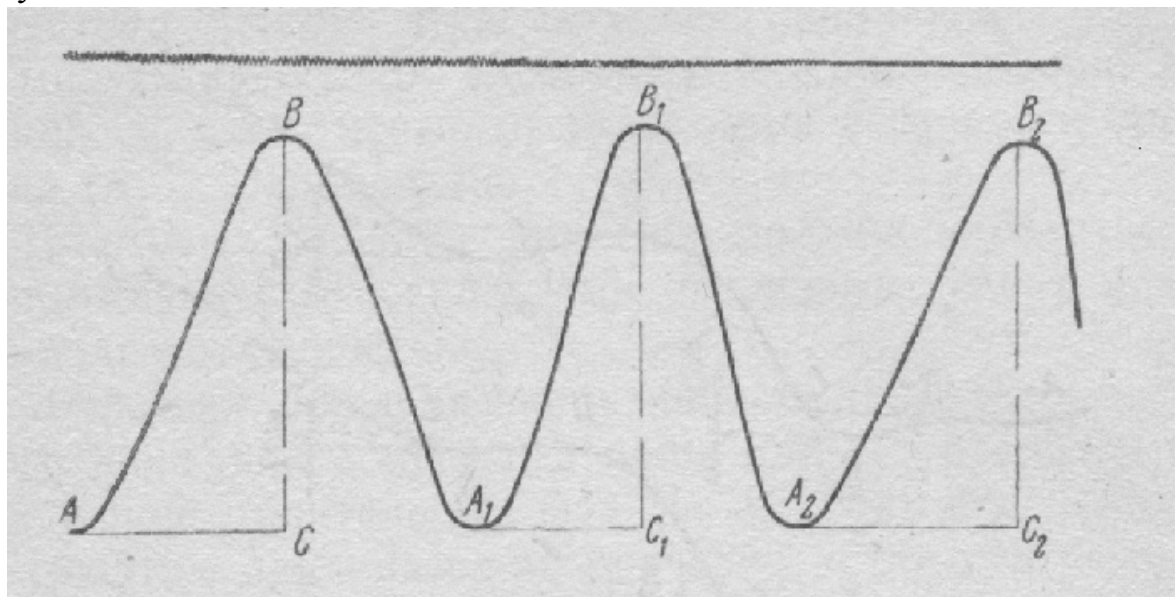


Рисунок 5.6. Тестовая механограмма трех попыток рывковой тяги штанги с весом 100%, от максимального в рывке.

1 – кривая механограммы; 2 – линия с импульсами отметки времени ( $T = 0,02$  секунды или  $T = 0,01$  секунды)

Тогда, полученное значение умножается на величину поднятого веса и определяется проделанная работа в *кгм*. Затем, подсчитывается количество счетных импульсов отметчика времени 2 уложившееся на отрезке AC и определяется время, в течение которого проводилась тяга. Далее определялась средняя мощность тяги по формуле  $N = A/t$ , где  $N$  – мощность в *кгм/с*,  $A$  – работа в *кгм*,  $t$  – время в *секундах*. То же делалось применительно к отрезкам C1B1, A1C1 и C2B2, A2C2.

Сопоставление показателей мощности, полученных перед, во время и после тренировки с соответствующими тренировочными нагрузками позволяет иметь информацию о состоянии и уровне работоспособности организма, его реакции на ту или иную выполняемую работу.

С помощью метода механографии можно получать срочную информацию по отдельным параметрам технического исполнения тяжелоатлетических упражнений. Так например, на рисунке 5.7 представлена механограмма жима мастера спорта.

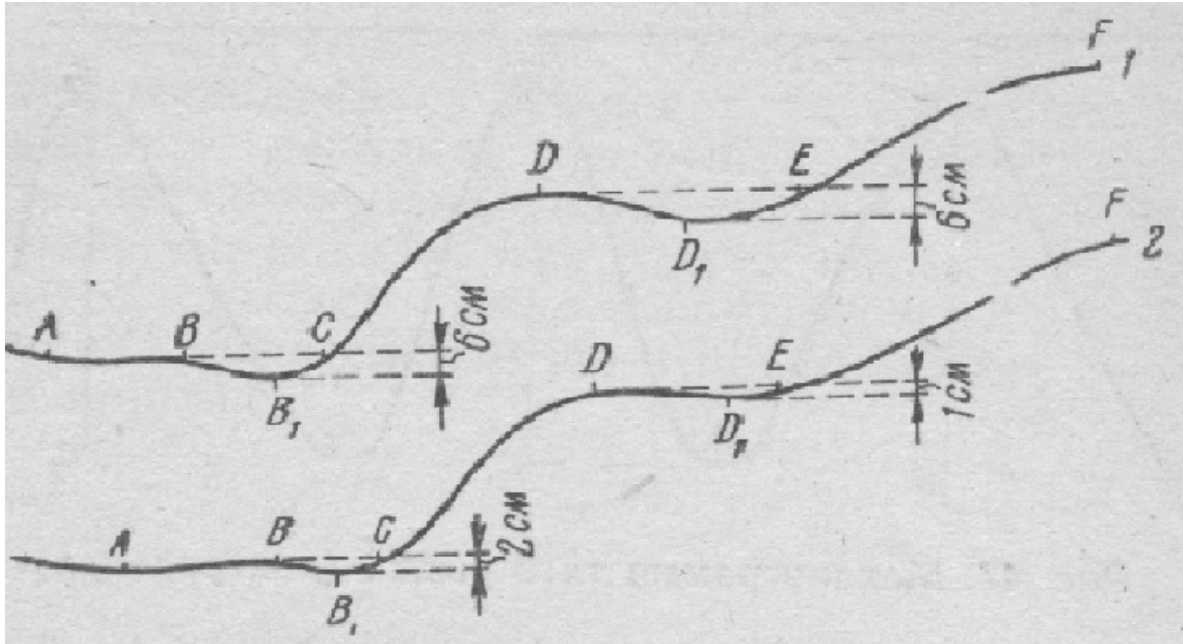


Рисунок 5.7 Механограмма жима штанги тяжелоатлетом  
 1 – жим от груди с отклонением от заданной структуры движения.  
 2 – выполнение жима от груди без нарушения структуры двигательного действия после соответствующей коррекции

На механограмме видно, что атлет после принятия исходного положения со штангой на груди, (отрезок  $AB$  – начало подъема) значительно опускает штангу вниз до 6 см - отрезок  $BB_1$ . После окончания «срыва» (отрезок  $CD$ ), штанга также опускается на 6 см, отрезок  $DD_1$  с остановкой штанги на 0,33 секунды. Остановка явилась причиной позднего подведения туловища под штангу и несвоевременного включения в работу рук во второй фазе жима (отрезок  $EF$ ). Используя подобную аппаратуру в рамках контроля за выполнением упражнений, можно успешно определять ошибки в действиях спортсмена и проводить целенаправленную работу по их устранению, что нашло свое отражение на кривой 2 рисунка 5.7 в виде некоторого выравнивания участков  $BC$  и  $DE$ .

Таким образом, можно сделать вывод, что механография и такие способы, как обычная фотография для определения структуры позы, фотография с многократной экспозицией, электротензометрия, циклографическая (стробографическая) съемка, стереостробофотография, видеосъемка, стабилметрия, акселерометрия, гониометрия, электромиография, являются техническими средствами получения важнейших показателей двигательной деятельности спортсмена.

Этими показателями являются: пространственно-временные и динамические показатели движения точки тела, его звеньев, спортивного снаряда.

При анализе пространственного движения любой точки тела спортсмена используются такие понятия, как *траектория*, *путь*, *перемещение*,

*Траектория* – это воображаемый след точки тела при ее движения в

ходе выполнения двигательного действия. Траектория может быть прямолинейной или криволинейной, характеризующейся кривизной, радиусом кривизны, который может изменяться. К примеру, траектория *ОЦМ* тела бегущего легкоатлета колеблется и имеет волнистый характер. Следует отметить, в тех же условиях у более квалифицированного бегуна, колебания *ОЦМ* тела значительно меньше и прямее траектория движения.

*Путь* – расстояние, проходимое точкой вдоль траектории (длина траектории). Пройденный путь обычно обозначается буквой *S*.

*Линейное перемещение* – отрезок прямой соединяющий начальное и конечное положения точки.

*Угловое перемещение* – разность угловых координат конечного и начального положений точки. Вектор углового перемещения обозначают как  $\Delta j$ , а его направление – по известному правилу буравчика.

### 5.3 Входная информация, основанная на оценке временных показателей двигательных действий спортсмена

В биомеханике, при анализе двигательных действий используются такие понятия, как *момент времени*, *длительность движения*, *темп* и *ритм*.

*Момент времени*  $t$  определяется количеством единиц времени, прошедших от начала отсчета до интересующей ситуации. *Промежуток времени* определяется разностью двух последующих моментов времени:  $\Delta t_{12} = t_2 - t_1$ .

*Длительность движения*  $\Delta t$  – это промежуток времени прошедший от момента начала движения до момента его окончания

$$\Delta t = t_k - t_n.$$

*Темп движения* – характеристика, применяемая в циклических движениях. Она показывает, сколько движений в единицу времени было сделано. Например, в академической гребле спортсмен движется по дистанции с темпом 30 гребков в минуту, и соответствующим такому темпу, *шагом* (путь, который проходит лодка спортсмена за один гребок). Длительность движения – величина обратная темпу. *Темп движения* величина обратная его длительности и составляет:  $n = 1/\Delta t$ .

*Ритм движения* это соотношение длительностей частей двигательного действия. Например, выполнение броска в спортивной борьбе имеет три фазы: подготовительную, основную и завершающую. Или, при выполнении классического толчка штанги, также имеются несколько подобных фаз: подъем штанги на грудь, вставание, сам толчок. Тогда ритм движения определится, как отношение этих фаз (частей)  $\Delta t_{12} : \Delta t_{23} : \Delta t_{34}$ .

К *пространственно-временным характеристикам* относятся такие крайне важные показатели, как *скорость* и *ускорение*.

*Скорость точки* (линейная) показывает, насколько быстро изменяется

ее положение в пространстве с течением времени. Скорость может быть *средней или мгновенной*. Для средней скорости

$V = S/\Delta t$ , т.е. средняя скорость – это отношение пройденного пути к длительности этого перемещения. Конкретное движение точки тела спортсмена отражает *мгновенная скорость*. Она определяется отношением перемещения точки тела за предельно короткий (бесконечно малый) промежуток времени к величине этого промежутка:

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

В математике мгновенная скорость представляет собой первую производную от перемещения. Мгновенная скорость есть величина векторная, и ее направление совпадает с направлением вектора перемещения. При выполнении спортивного движения скорость точек тела спортсмена всегда меняется во времени. Все зависит от величины промежутка времени, в течение которого изменяется характер изменения скорости (ускорение/замедление) *При среднем ускорении*, указанный промежуток времени имеет конкретное, измеримое значение. Тогда среднее ускорение имеет вид:

$$a = \frac{d^2 f}{dt^2}$$

где:  $V_2$  – вектор скорости в момент времени  $t_2$ ;  $V_1$  – вектор скорости в момент времени  $t_1$ ;

$\Delta t_{12} = t_2 - t_1$  – промежуток времени, в течение, которого произошло изменение скорости.

*Мгновенное ускорение*, в математике, определяется как первая производная по времени от скорости, или вторая – по времени от перемещения точки:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_2 - V_1}{\Delta t_{12}} = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}$$

Ускорение является векторной величиной. Его направление совпадает с направлением вектора изменения скорости  $V_2 - V_1$ .

При выполнении двигательных действий точки тела спортсмена могут совершать сложное движение, где изменяются не только линейные, но и угловые расположения точек относительно выбранной системы координат. Характер изменения углового положения точки определяется *угловой скоростью и угловым ускорением*. *Угловая скорость*, как и линейная может быть средней и мгновенной. Она показывает изменение углового положения точки относительно системы координат с течением времени. Для мгновенного ускорения, – это когда течение времени стремиться к



бесконечно короткому промежутку времени.

Для угловой скорости  $\omega$ :

$$\omega_{cp} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta t_{12}};$$

$$\omega_{мгн} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}.$$

В математике мгновенная угловая скорость рассматривается как первая производная углового перемещения по времени. Угловая скорость также величина векторная.

В спортивных движениях угловая скорость постоянно изменяется.

Тогда для углового ускорения  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t_{12}} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t_{12}};$$

$$\varepsilon_{мгн} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t_{12}} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Здесь угловое ускорение проявляет себя как первая производная от угловой скорости, или второй производной, от углового перемещения по времени.

При угловом перемещении точки всегда имеется определенное значение линейной скорости. Величина линейной скорости  $V$ :

$$V = \omega r,$$

где  $\omega$  – угловая скорость,  $r$  – величина радиуса вектора. Во время криволинейного движения точка всегда обладает ускорением, раскладываемое на направление, параллельное скорости и перпендикулярное. Касательное ускорение связано с изменением численного значения скорости и носит название *тангенциального*. Ускорение перпендикулярное скорости, изменяет направление вектора скорости, не влияя на его численное значение. Это *нормальное или центростремительное ускорение*. Численно центростремительное ускорение  $a_{цс}$  определяется по формуле:

$$a_{цс} = V^2/r,$$

где  $V$  – скорость точки,  $r$  – радиус вращения. На тангенциальное ускорение  $a_{\tau}$ , помимо радиуса вращения, влияет и угловое ускорение:

$$a_{\tau} = \varepsilon r$$

#### 5.4 Входная информация, основанная на оценке динамических характеристиках двигательных действий спортсмена

Динамика изучает движение с точки зрения причины вызывающей или изменяющей это движение. В спортивной биомеханике в качестве таковой рассматриваются предметы внешней среды, с которыми взаимодействует спортсмен. Такие предметы достаточно разнообразны.

*Динамическими характеристиками движения являются: сила, момент силы, масса и момент инерции.* Сила может иметь абсолютное значение  $F_{абс}$ , непосредственно измеренное динамометрическим устройством, или относительное  $F_{отн}$ , соизмеримое с одним килограммом массы тела спортсмена, где  $F_{отн} = F_{абс}/m$ , а  $m$  – масса тела спортсмена. Однако существует еще целый ряд параметров характеризующих динамику движений, которые вводятся на основе второго закона динамики в различных его формах.

*В поступательном движении,* промежуток времени действия ускорения всегда имеет конечную величину. Поэтому здесь, силы и ускорения являются, в определенной степени усредненными. Тогда непосредственное выражение второго закона в динамике имеет вид:

$$\Delta(mV) = F\Delta t, \quad \text{где } (mV) \text{ – количество движения}$$

Значительное количество движения необходимо там, где имеется непосредственный контакт с противником, или со спортивным снарядом. Например, у хоккеиста, в ходе силовой борьбы при прорыве защиты противника. Причем, его пробивная сила определяется, именно количеством движения, в равной степени зависящей от скорости и массы тела хоккеиста. От количества движения зависит положительная и отрицательная величина ускорений у различных спортивных снарядов, сила удара у боксеров, других представителей единоборств, и т.п.

Правая часть предыдущего выражения  $F\Delta t$  - является, также одним из важнейших параметром двигательных действий, называемым *импульсом силы*

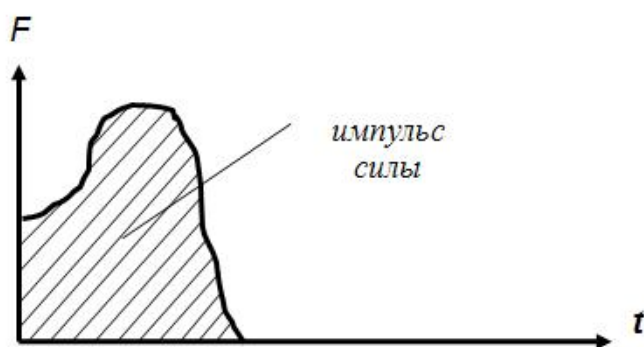


Рисунок 5.8 Импульс силы

*Импульс силы* в наглядной форме показан на рисунке 5.8. Если есть зависимость силы от времени, то импульс силы численно равен площади ограниченной осями координат и кривой линией, соединяющие эти координаты (заштрихованный участок графика).

Такая площадь определяется

процессом интегрирования, поэтому эта форма представления закона является интегральной.

*Криволинейное движение материальной точки или тела* возникает тогда, когда действующая на них сила, или равнодействующая нескольких сил, направлены под углом к скорости. В таком случае, действующая сила раскладывается на две составляющие – *нормальную*, направленную перпендикулярно скорости, и *тангенциальную*, параллельную последней (рисунок 5.9). Следует отметить, что каждая из них по-разному влияет на движение тела.

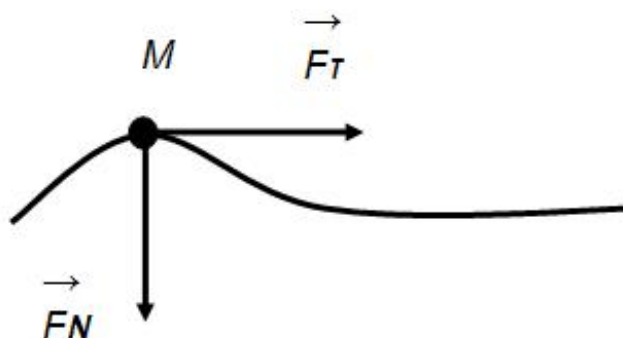


Рисунок 5.9 Тангенциальная и нормальные составляющие силы, действующей на материальную точку М

В случае отсутствия тангенциальной составляющей силы имеет место равномерное вращение тела относительно постоянной оси. При таком движении линейная скорость численно не изменяется, изменение же ее направления обеспечивается действием *нормальной силы* называемой *центростремительной*.

*Центростремительная сила* всегда действует со стороны какого-либо материального объекта и, следовательно, в соответствии с третьим законом Ньютона, должна сопровождаться образованием силы противодействия, которая имеет название *центробежной*. Так, при метании молота спортсмен прилагает центростремительную силу, заставляющую молот вращаться, а молот действует на трос, натягивая его с той же силой, и через него – на метателя. В примере сила натягивающая трос является центробежной.

Выражение для центростремительной силы  $F_{цс}$  имеет вид:

$$F_{цс} = mV^2/r$$

Где:  $m$  – масса тела,  $V$  – скорость,  $r$  – радиус вращения.

Тангенциальное ускорение  $F_{\tau}$  это произведение углового ускорения  $\varepsilon$  на радиус вращения  $r$ . В соответствии с этим, сила определяющая тангенциальное ускорение имеет вид:

$$F_{\tau} = m\varepsilon r$$

Кроме рассмотренных сил взаимодействия движущихся тел, наиболее распространенными силами при выполнении спортивных и других движений являются *силы тяжести, силу реакции опоры, силы трения, силы сопротивления окружающей среды, силы упругости, выталкивающие силы, силы инерции.*

*Сила тяжести тела*, находящегося под действием сил гравитации, вблизи поверхности Земли может, быть определена массой тела  $m$  и

ускорением свободного падения  $g$

$$F = mg$$

*Сила реакции опоры  $R$*  действует на тело со стороны поверхности опоры и имеет две составляющие – вертикальную и горизонтальную. Горизонтальная составляющая определяется силами трения, а вертикальная реакция опоры имеет следующее выражение:

$$R = ma + mg,$$

где  $a$  – проекция ускорения центра масс тела, находящегося в контакте с горизонтальной опорой на ось  $Y$ .

*Сила трения* – проявляет себя двояко. В первом случае это силы возникающие при ходьбе, беге, скольжении, т. е. имеют место «*силы трения-скольжения*». Во втором случае тело не перемещается относительно опоры, и в этом случае сила трения удерживает его на месте. Такая сила называется «*силой трения-покоя*». Для большинства спортивных движений, численное выражение сил трения имеет вид:

$$F = kR,$$

Где  $k$  – коэффициент трения, а  $R$  – нормальная (перпендикулярная к поверхности) составляющая реакции опоры.

*Силы сопротивления окружающей среды.* Сила действующая со стороны встречного потока среды, (воздух, вода) может выражаться двумя составляющими, это – *сила лобового сопротивления*, направленная встречно движению тела, и *подъемная сила*, действующая перпендикулярно направлению движения. При выполнении спортивных движений, силы сопротивления зависят от плотности среды  $\rho$ , скорости тела  $V$  относительно среды, площади тела, перпендикулярной встречному потоку  $S$ , коэффициента  $C$ , зависящего от формы тела :

$$F_{сопр} = CS\rho V^2.$$

Рассмотренные силы действуют на тело, перемещающееся в сопротивляющейся среде. Они имеют динамический характер и возникали с появлением скорости движения.

Кроме динамических сил сопротивления на тело человека всегда действует сила статического характера под названием *выталкивающей или Архимедовой*. Выталкивающая сила зависит от величины объема тела  $V$  или его части, погруженных в среду (вода или воздух) или другую жидкость, плотности среды  $\rho$  и ускорения свободного падения  $g$ .

$$F_{выт} = \rho Vg.$$

Выталкивающая сила приложена к точке называемой *центром объема тела*. Эта точка обычно не совпадает с ОЦМ тела, в связи с чем тело, погруженное в воду, стремится изменить свое положение так, чтобы сила тяжести и выталкивающая сила оказались на одной линии.

*Силы упругости* возникают при изменении формы (деформации) различных физических тел, восстанавливающих свое первоначальное состояние после прекращения действия деформирующих тело сил. Сила упругости зависит от свойств деформируемого тела, выражаемых коэффициентом упругости  $K$  и величиной изменения его формы  $\Delta l$ :

$$F_{упр} = -K\Delta l.$$

Знак минус в правой части уравнения означает, что сила упругости всегда направлена в противоположную сторону по отношению к деформации  $\Delta l$ . Последнее уравнение называется законом Гука.

*Центробежная сила инерции* для тела массы  $m$ , центр которого расположен на расстоянии  $r$  от начала отсчета, в случае вращения системы с угловой скоростью  $\omega$  относительно оси, проходящей через начало отсчета, определяется по формуле:

$$F_{цб\ i} = mr\omega^2$$

*Силы инерции, связанные с неравномерностью вращения* определяются в виде:

$$F_{вр. уск} = mr\varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение при вращении системы. Направление данной силы перпендикулярно радиусу, соединяющему центр масс тела и начало координат.

*Силы Кориолиса* возникают при движении тела относительно вращающейся системы координат. При этом, при движении вдоль радиуса, соединяющего центр масс тела и начало вращающейся системы координат, сила будет направлена в плоскости вращения перпендикулярно указанному радиусу. При движении, силы в направлении перпендикулярном радиусу, – вдоль него, накладываясь на действие центробежной силы. Сила Кориолиса вычисляется по формуле:

$$F_{кор} = 2mV\omega,$$

где  $V$  – составляющая вектора скорости, перпендикулярная вектору угловой скорости вращающейся системы отсчета.

### 5.5 Спектральные составляющие силовых проявлений в двигательных действиях спортсмена

Рассматривая силовые проявления с количественной точки зрения, следует наполнить, что у изменения силы есть и содержательная сторона, а именно – ее спектральная составляющая.

Знание спектральной составляющей изменения силы или других показателей двигательной деятельности спортсмена необходимо для определения полос пропускания различных функциональных элементов преобразующих радиочастотные сигналы. Но, самое главное это то, на сколько спектральная составляющая характеризует непосредственно форму изменения входной величины, через ее содержание, например – импульса силы изображенного на рисунке 5.8.

В математике существует способ представления произвольной сложной функции суммой более простых. В общем случае количество таких функций может быть бесконечным, при этом, чем больше таких функций учитывается при расчете, тем выше оказывается конечная точность представления исходной функции. В большинстве случаев в качестве простейших используются тригонометрические функции синуса и косинуса, в этом случае такой ряд называется рядом Фурье и является тригонометрическим, а вычисление такого ряда часто называют разложением на гармоники.

В спортивной технике, предназначенной для подготовки спортсменов, входная величина – это некоторая физическая величина, выраженная через изменение силы, пути, времени, температуры тела, а также напряжение или омическое сопротивление, характеризующие биометрические показатели спортсмена, например электрокардиограмма, электромиограмма и др. Все подобные электрические сигналы, являются функцией предыдущих физических величин, и подаются на вход тренировочного устройства с выхода первичного преобразователя (датчика). Поэтому для описания входных физических величин, могут быть использованы функции времени  $f(t)$  или график на рисунке 5.10, отражающий изменения во времени той или иной физической величины.

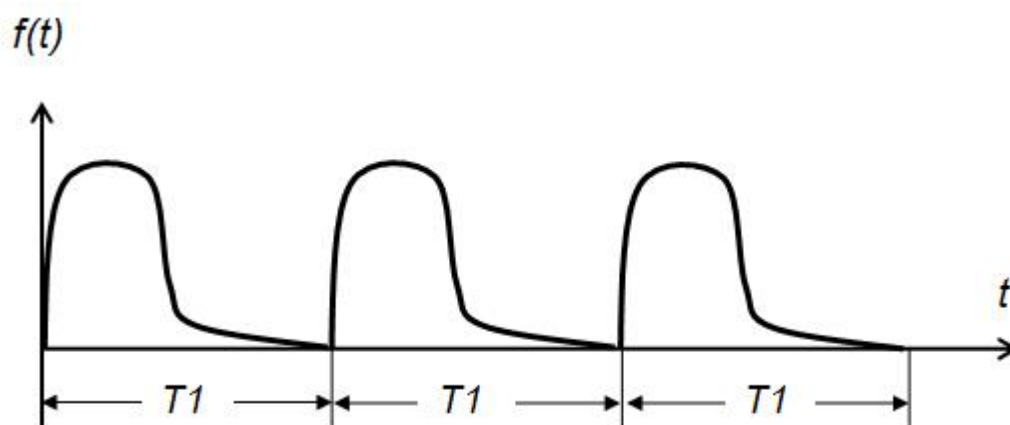


Рисунок 5.10 Графическое изображение периодического изменения физической величины  $f(t)$  во времени  $t$

Из математики известно, что периодическая функция по времени с периодом повторения  $T1$  может быть представлена суммой синусоид с надлежащим образом подобранными амплитудами  $A_n$  и фазами  $\varphi_n$ , полученной на основании преобразования Фурье.

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n \Omega t + \varphi_n)$$

Частоты этих синусоид (гармоник) кратны основной частоте

$\Omega = 2\pi/T1$ , с которой повторяется по времени и периоду физическая, периодическая функция  $f(t)$ .

Таким образом, если входная физическая величина периодическая, то она состоит из постоянной составляющей  $A_0$ , первой гармоники  $A_1 \cos(\Omega t + \varphi_1)$ , второй гармоники  $A_2 \cos(2\Omega t + \varphi_2)$  и других высших гармоник с частотами  $3\Omega$ ,  $4\Omega$  и т. д. Полная сумма всех этих гармонических составляющих равна входной величине и полностью описывает изменение входной величины во времени.

Совокупность амплитуд гармоник  $A_n$  входной величины называется *спектром сигнала*. Для периодической последовательности единичных перепадов силы, показанной на рисунке 5.11 А, графический спектр этой последовательности изображен на рисунке 5.12 А.

Единичный перепад физической величины обычно описывается функцией включения, у которой при  $A = 1,0$  и выражение (здесь функция по времени наиболее удобна для обобщения и понимания) :

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_1 \\ A & \text{при } t_1 < t < t_2 \\ 0 & \text{при } t > t_2. \end{cases}$$

Такой перепад физической величины, например силы, графически, отражен на рисунке 5.11 Б.

Графический спектр любой периодической последовательности

изменений физической величины изображается в виде вертикальных отрезков (спектральных линий), равностоящих друг от друга. Такой спектр называется *линейчатым* (рисунок 5.12 А).

Однако, любые физические величины всегда ограничены по времени и поэтому не являются периодическими функциями времени. Например, одиночное воздействие силы (импульс) существует лишь в течение времени  $t$  (рисунок 5.11 Б). Это рассматривается как предельный случай периодической последовательности импульсов длительности  $t$ , при неограниченно возрастающем периоде их повторения  $T \rightarrow \infty$ . При указанном предельном переходе частотный интервал  $\Omega = 2\pi / T$  между гармониками неограниченно сокращается, а амплитуды  $A_n$  уменьшаются до бесконечно малого значения.

Таким образом, спектральным представлением непериодической функции является не дискретный ряд гармоник, а сумма бесконечно большого числа, бесконечно близких при частоте колебаний с исчезающе малыми амплитудами.

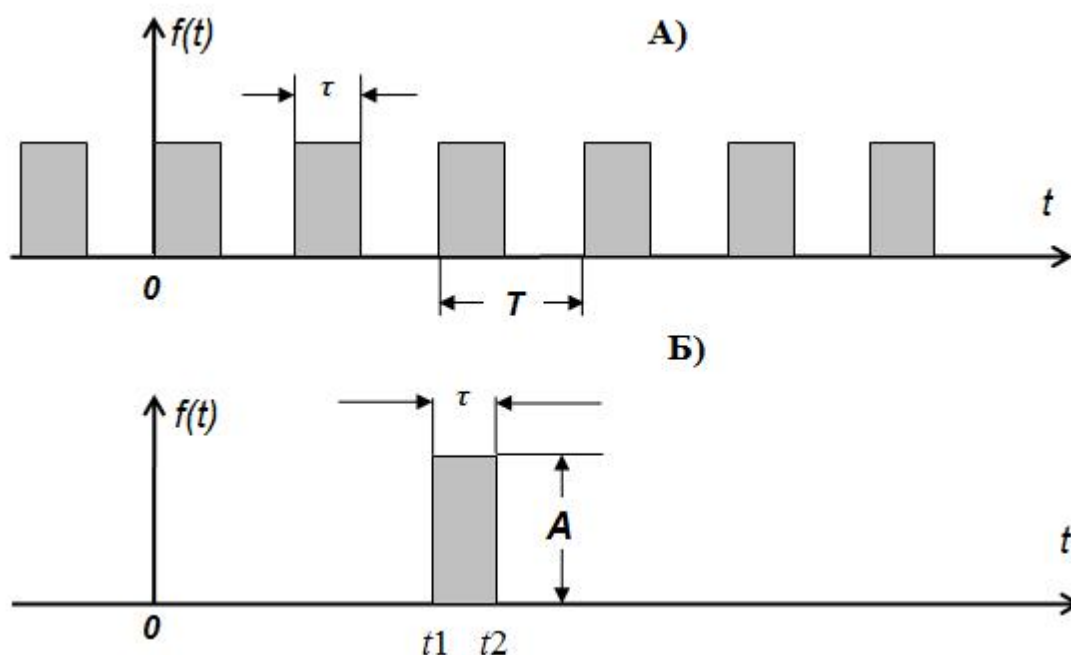


Рисунок 5.11 Периодическая последовательность перепадов физической величины – А и одиночный перепад физической величины – Б

Спектр такой функции является *сплошным*, так как состоит из непрерывной последовательности частот. При графическом изображении такого спектра (рисунок 5.12 Б), вдоль оси ординат откладываются амплитуды составляющих (они бесконечно малы), а предел отношения амплитуды  $A_n$  к полосе частот, отделяющей соседние спектральные линии. Этот предел называется спектральной плотностью амплитуд  $\Phi(\Omega)$ .

При анализе рисунков 5.12 А и 5.12 Б видно, что огибающие спектров начиная в области низких частот, уходят в область бесконечно больших



частот. Но, по мере роста частот амплитуд составляющих спектральные плотности уменьшаются, и, начиная с некоторой частоты, они вносят настолько малый вклад в общую сумму, что с ними можно не считаться.

Таким образом, любые перепады физических величин являющихся функцией времени, следует считать функциями с *ограниченным* спектром. Интервал частот, в котором размещается ограниченный спектр, называется шириной спектра.

При практической оценке ширины спектра импульса (в отсутствии особых требований к его форме) допускается отбрасывать высшие частотные составляющие спектра, суммарная энергия которых не превышает  $5 \div 10\%$  энергии импульса.

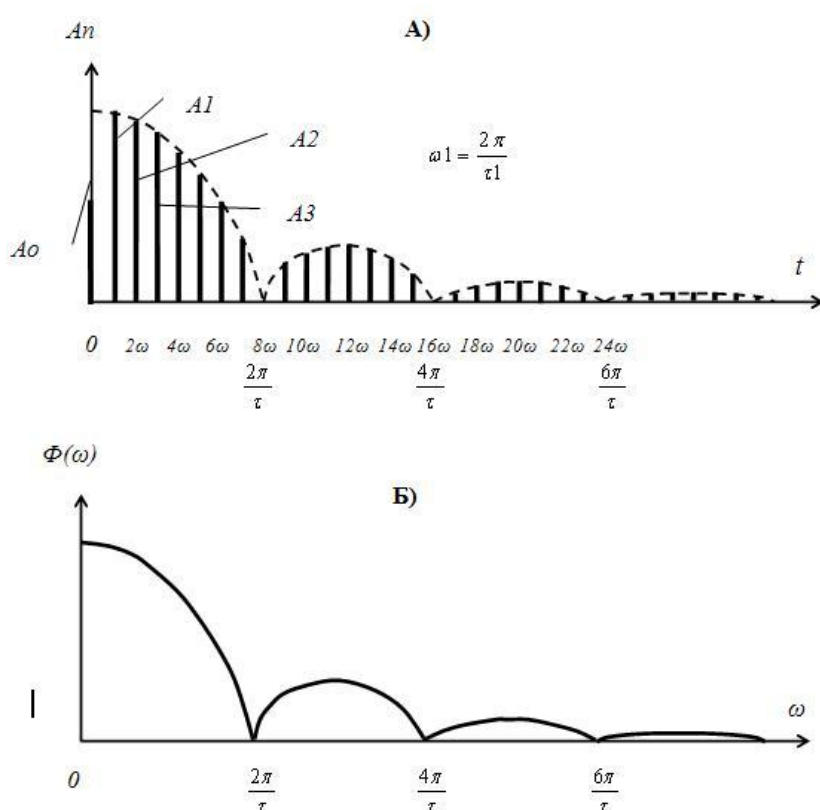


Рисунок 5.12 Спектр периодической последовательности перепадов физической величины  $f(t)$  — А и спектр единичного перепада непериодической физической величины  $f(t)$  — Б.

При этом, ширина  $F$  спектра определяется ориентировочным соотношением:

Ширина спектра импульса увеличивается во столько раз, во сколько раз сокращается его длина. В пределе при  $t \rightarrow 0$  получаем  $F \rightarrow \infty$ , т.е. импульс бесконечно малой длительности имеет бесконечно широкий равномерный спектр.

Наиболее распространенным, в определении механических показателей

двигательных действий спортсменов, является метод электротензометрии. Это прямой метод, с помощью которого можно получить все механические характеристики усилий движений тела или звеньев спортсмена в пространстве, характеристики взаимодействия тела и его звеньев с подвижной или неподвижной опорой (спортивные снаряды, среда, партнеры, противники).

Основой метода электротензометрии является, свойство одних материальных тел реагировать упругой деформацией на изменение механической нагрузки приложенной к ним, других — на изменение электрического сопротивления возникающего от соответствующей

деформации, при условии, что оба тела жестко соединены друг с другом. В общем виде, функциональная схема построения электротензометрического оборудования для исследования мышечной работы спортсмена может иметь вид показанный на рисунке 5.13.

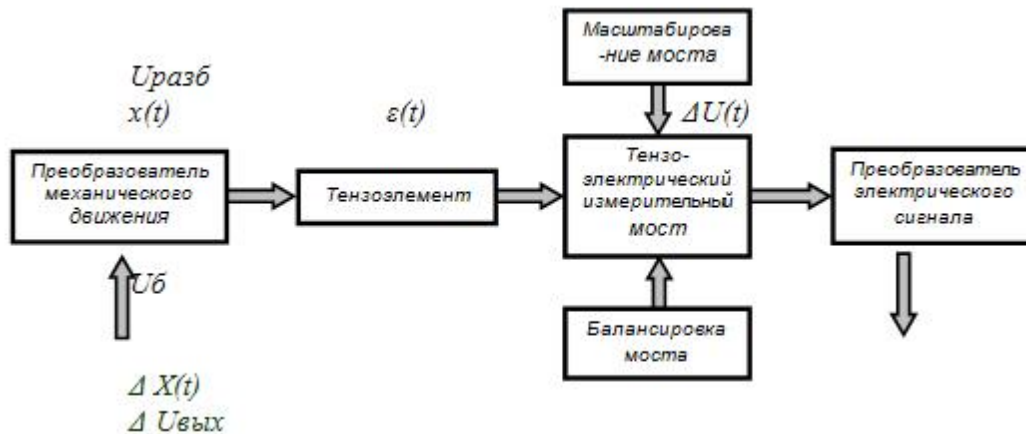


Рисунок 5.13 Функциональная схема электротензометрического оборудования

Преобразователь механического движения  $\Delta X(t)$ , которое определяется спецификой двигательного действия спортсмена, переводит это движение в нагрузку  $x(t)$  деформирующую тензоэлемент. Упругая деформация этого тензоэлемента изменяет омическое сопротивление одного, пары или всех четырех электрических тензорезистивных элементов, образующих плечи тензоэлектрического измерительного моста. В результате происходит разбаланс тензоэлектрического измерительного моста и на его выходе появляется напряжение (ток)  $\Delta U(t)$ . Управление режимами работы тензоэлектрического измерительного моста осуществляет балансирующее устройство, устанавливающее и поддерживающее нулевое значение напряжения (тока) в измерительной диагонали тензоэлектрического измерительного моста, путем его балансировки, а также масштабирующее устройство, создавая эталонный разбаланс тензоэлектрического измерительного моста подключением, к одному из его плеч, соответствующего резистора. Преобразователем электрического сигнала, является напряжение (ток)  $\Delta U(t)$ , которое преобразуется в выходной сигнал  $\Delta U_{вых}$ , по параметрам достаточным для его использования другими регистрационно-информационными системами.

На основе описанного метода, широкое распространение получили *тензоплатформы* – устройства, позволяющие определять взаимодействие спортсмена с опорой при отталкивании. Составляющие реакции опоры (вертикальная и горизонтальные) регистрируются независимо от точки контакта с прибором.

Широко применяется и *стабилометрия*, где с помощью тензометрической аппаратуры можно исследовать также перемещение точки приложения усилия к *тензоплатформе*. Такое перемещение может происходить как из-за передвижения испытуемого, так и из-за изменения

положения его ОЦМ тела при перемене позы. Для этих измерений требуется многокомпонентная тензоплатформа, с помощью которой измеряются отдельно составляющие реакции во всех опорах, установленных по углам платформы.

При *акселерометрии*, одной из наиболее важных характеристик движения является линейное ускорение, где определять его также можно с помощью тензометрической аппаратуры. В данном случае тензодатчик регистрирует деформацию упругой пластины, связанной с движущимся объектом. Так как масса датчика ( $m$ ) и упругость пластины ( $C$ ) величины постоянные, то перемещение массы датчика относительно объекта будет пропорционально линейному ускорению объекта. Параметры акселерометра подбираются таким образом, чтобы собственная частота колебаний датчика, была в 3-4 раза больше максимальной частоты изучаемого процесса.

*Гониометрия* широко используется для измерений углов в сочленениях тела спортсмена. При использовании метода электротензомерии, здесь вместо потенциометра, о котором говорилось ранее, устанавливается специальный тензоэлемент. При этом, тензоэлемент, во время двигательного действия, сдавливается образующими суставной угол планками с усилием пропорциональным суставному углу конечности спортсмена. Такой метод определения суставных углов обладает высокой точностью измерения и большой скоростью реагирования на изменения положений суставного угла.

### **5.6 Входная информация, основанная на биоэлектрических и биометрических сигналах, характеризующих функциональное состояние спортсмена**

Стыковаться со спортивным оборудованием могут и специальные диагностические приборы и комплексы, у которых входной величиной являются показатели функционального состояния. Для получения *электрокардиографических, электромиографических, реографических сигналов, а также сигналов связанных с кожногальванической реакцией и тепловым излучением организма используются различные технологии.*

*Электрокардиограмма* - это кривая изменения электрической активности сердца, характеризующая деятельность сердечной мышцы в функции времени за период от поступления крови в предсердие до поступления ее в аорту. На графике этого изменения по вертикали регистрируются изменения напряжения в милливольтгах, по горизонтали – время в секундах. Для того чтобы получить электрокардиограмму (ЭКГ) достаточно наложить на нужные точки тела человека два электрода площадью  $40 \div 60 \text{ см}^2$

Как правило электрокардиограмма снимается с человека с помощью *электрокардиографа*. Конструктивно, он может быть оформлен в виде самостоятельного, отдельного прибора, либо как функциональный элемент,

входящий в состав некоторого тренировочного устройства, например специализированного велоэргометра. Электрокардиограф это прибор, позволяющий измерить напряжение сердечной мышцы в пределах  $0,01 \div 0,50$  мВ с регистрацией результата измерения в аналоговой (рисунок 5.14), либо в цифровой форме. *Электрокардиограф* состоит из электродов накладываемых на тело, широкополосного электронного усилителя с входным сопротивлением равным  $500 \text{ кОм} \div 2,0 \text{ МОм}$ . Если разделить напряжение, соответствующее зубцу R на кривой ЭКГ, равное  $0,3 \div 0,5$  мВ на значение входного сопротивления, то значение входного тока будет находиться примерно в пределах сотых долей микроампер.

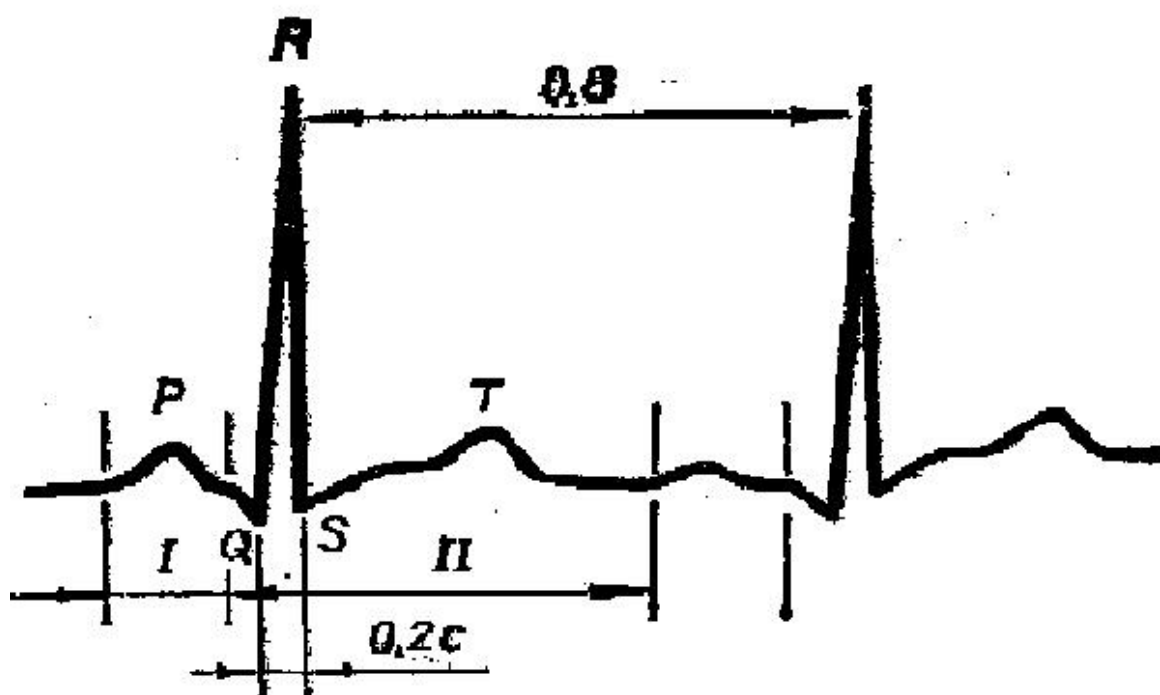


Рисунок 5.14 Нормальная электрокардиограмма здорового человека  
Интервал I, характеризуемый зубцом P – работа предсердия; интервал II, характеризуемый зубцами Q, R, S, T – работа желудочков

Зная ток и напряжение можно оценить электрическую энергию работы сердца за любой отрезок времени его работы. Для спорта, при оценке работы сердца, используется время между двумя зубцами R. По этому времени, определяется частота сердечных сокращений (ЧСС), характеризующая функциональные особенности спортсмена, и являющаяся основной входной величиной оборудования для циклических видов спорта.

*Электромиография* – способ регистрации биоэлектрической активности мышц. Современные беспроводные технологии дают возможность получать информацию непосредственно при выполнении физического упражнения. Например, в двигательных взаимодействиях двух спортсменов (рисунок 5.15). В электромиографии можно выделить три основных направления использования изучения двигательной деятельности

человека.

1. Характеристика активности отдельных двигательных единиц мышц.
2. Определение активности отдельных мышц в различных двигательных актах.
3. Характеристика согласования активности мышц, объединенных общим участием в движении.

Для решения биомеханических задач используются главным образом второе и третье направления.

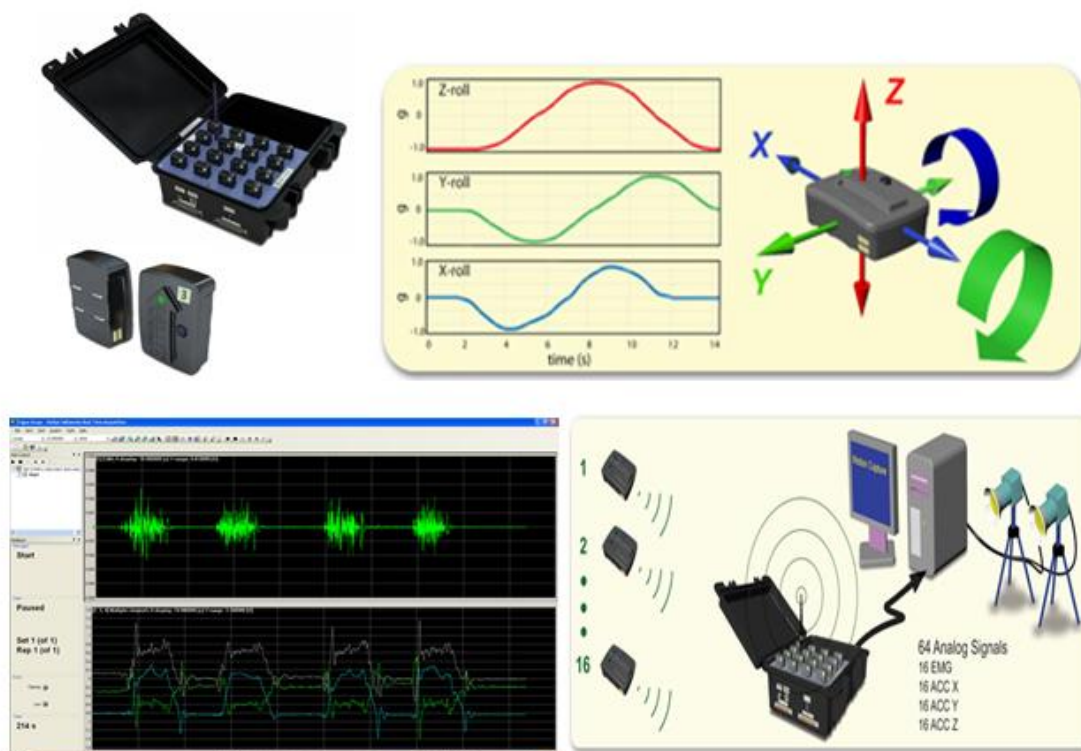


Рисунок 5.15 Беспроводной ЭМГ-комплекс Tringo для регистрации и анализа биоэлектрической активности мышц

При использовании электромиографии для изучения спортивных движений обычно применяются накожные электроды. Накожные электроды могут быть моно- и биполярные. В любом случае электромиограмма может отражать электрическую активность тех мышц, над которыми находятся электроды, либо (при монополярном отведении) активность мышц, которые находятся между активными и индифферентными электродами. Преобразователи, (они же электронные усилители) аналогичны кардиографическим, отличаются только системой фильтрации для выделения нужного частотного сигнала, либо для выделения его постоянной составляющей (огибающей). Это позволяет усиливать сигналы с датчиков до уровня, достаточного для использования разнообразными регистрирующими приборами. Например, вычислительными устройствами сравнивающими сигнал с эталоном (калибровочным сигналом) и по проводам или с помощью радиотелеметрии передающими результат на индикатор. В некоторых случаях измерительная система не включает в себя вычислительное устройство и

анализ материалов производится отдельно с использованием полуавтоматических дешифраторов или даже вручную. В таких случаях о соблюдении принципа срочной информации говорить не приходится. Следует учитывать, что регистрируемая величина биопотенциалов зависит от трех факторов. От положения электродов относительно мышцы – при расположении вдоль волокон, а также вблизи от двигательной точки (место входа нерва в мышцу) потенциалы больше. От электропроводности кожи – кожу следует тщательно обезжировать эфиром. От формы и размеров электродов – следует пользоваться одними и теми же или, в крайнем случае, одинаковыми. Электромиографический сигнал используется как основной показатель, характеризующий состояние межмышечной координации, выражающийся в соразмерности и согласованности работы мышц при выполнении спортивных движений.

*Реография* — бескровный метод исследования динамики пульсового кровенаполнения органов и тканей или отдельных участков тела на основе графической регистрации их суммарного электрического сопротивления. Увеличение кровенаполнения сосудов во время систолы приводит к уменьшению электрического сопротивления исследуемых отделов тела. Колебания электрического сопротивления регистрируются специальным аппаратом (реографом) с определенными датчиками-электродами. Располагая электроды над участками основных сосудистых бассейнов различных органов или тканей человека, можно зарегистрировать реограмму конечностей (периферическая реограмма или реовазограмма), легких (реопульмограмма), мозга (реоэнцефалограмма), сердца (реокардиограмма) и др. По форме реограммы оценивают состояние кровообращения в сосудах исследуемой области тела. На вертикали, графика отражающего реограмму, откладывается электрическое сопротивление или проводимость исследуемого участка тела области. На горизонтали время кровотока. Реография используется, преимущественно, в специальных лабораторных условиях для оценки влияния тренировочных нагрузок на отдельные области тела и органы спортсмена.

*Тепловидение* – преобразование ИК-излучения нагретых тел в видимое, т.е. обеспечивающее визуализацию теплового поля нагретых предметов. Осуществляется полупроводниковыми фотоприемниками, чувствительными в области длин волн  $3 \div 12$  мкм.

На практике тепловидение применяется для бесконтактной визуализации теплового поля человека, которое содержит обширную информацию об интенсивности обменных процессов и состояния систем регулирования органами. Структура механизмов формирующих, температурное поле человека отражена на рисунке 5.16.



Рисунок 5.16 Структура механизмов формирования температурного поля поверхности тела человека

Установлено, что поле человека независимо от цвета кожи излучает тепло в спектральном диапазоне  $3 \div 12$  мкм с максимумом на длине волны 9 мкм, а по излучательной способности кожа практически идентично черному телу. В тепловизорах биологического назначения используется спектральный диапазон  $8 \div 12$  мкм, поскольку на него приходится около половины суммарного потока излучения тела человека, в то время, как на диапазон  $3 \div 5$  – не более 2% этого потока. Диагностика биологического состояния основывается на анализе выраженности очертаний соответствующих тепловых поверхностей тела, их равномерности, четкости и контрастности.

В противоположность тепловому излучению, человеческое тело способно поглощать ИК-излучение. Эта способность использована для создания метода *инфракрасного зондирования (ИК-зондирование)*.

Сущность метода заключается в том, что исследуемую биоткань зондируют инфракрасным световым лучом и регистрируют отраженный сигнал по аналогии с радиолокацией. При этом, коэффициент диффузного отражения (не отождествлять с зеркальным отражением) кожи человека, измеренный в ближней инфракрасной области спектра, несет информацию о состоянии кожи ее структуре и целости, степени ее кровенаполнения, а также косвенно отражает общее функциональное состояние организма и интенсивность его обменных процессов. Упрощенный механизм ИК-зондирования на примере человеческой кожи и варианты расположения элементов оптоэлектронных пар показан на рисунке 5.17.

В отличие от тепловидения, метод ИК-зондирования является активным,

так как предполагает наличие согласованных по спектральным характеристикам, источника и приемника излучения. Причем, для исключения зеркальной (поверхностной) составляющей отражения, по крайней мере, один из элементов этой оптоэлектронной пары устанавливается непосредственно на поверхности кожи (рисунок 5.17, а и б).

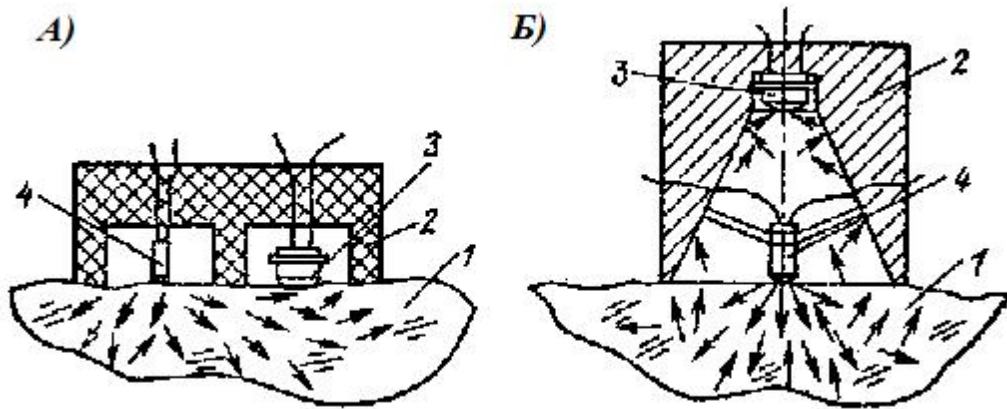


Рисунок 5.17 Возможные варианты расположения элементов оптоэлектронных пар в корпусе датчика устройства для ИК-зондирования  
1 – кожный покров; 2 – корпус датчика; 3 – фотоприемник; источник ИК-излучения.

В качестве примера конструктивного исполнения устройства для ИК-зондирования, можно использовать базовую функциональную схему, показанную на рисунке 5.18.

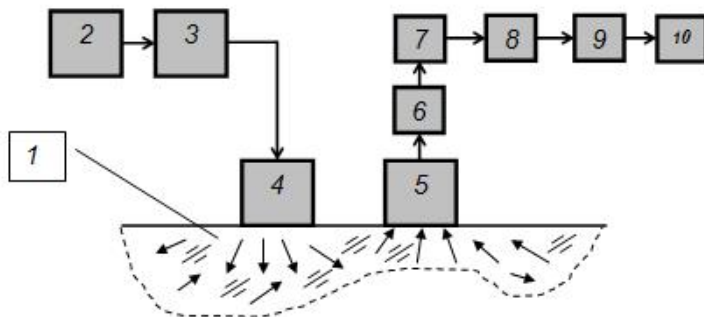


Рисунок 5.18 Базовая функциональная схема устройства для ИК-зондирования

При работе устройства для ИК-зондирования смонтированного согласно представленной функциональной схеме, импульсный режим работы светодиода 4 обеспечивает задающий автоколебательный генератор 2. Этот генератор генерирует последовательность

импульсов напряжения прямоугольной формы с частотой равной 4 кГц. На время каждого импульса замыкается управляющий электронный ключ 3, подключающий светодиод 4 к источнику питания. Светодиод 4, представляющий собой кристалл арсенида галлия, на каждый импульс управляющего тока, генерирует зондирующий импульс инфракрасного светового потока с длиной волны около 1 мкм. Зондирующие ИК-импульсы распространяются в толще исследуемой биоткани 1, и их диффузно отраженная составляющая воспринимается кремниевым фотодиодом 5, вырабатывающего последовательность импульсов фототока с частотой задающего генератора 2 и амплитудой, пропорциональной коэффициенту диффузного отражения биоткани 1. Импульсы фототока преобразуются в



импульсы напряжения преобразователем 6, а затем усиливаются избирательным усилителем 7. Этот усилитель выполнен таким образом, что усиливает только сигналы с частотой задающего генератора 2. Такой режим работы позволяет значительно повысить помехоустойчивость устройства, так как частотный спектр фоновых засветок датчика, сетевых помех, а также температурного дрейфа элементов оптоэлектронной пары лежит вне пределов полосы пропускания избирательного усилителя. Таким образом, помехи по сравнению с информационным сигналом существенно ослаблены. Амплитудный детектор 8 преобразует информационный сигнал в сигналы постоянного тока. Если установить датчик устройства на какой-либо участок кожи спортсмена, например на фалангу пальца или на мочку уха и посмотреть форму выходного сигнала амплитудного детектора на экране осциллографа, то увидим пульсации напряжения, возникающие синхронно с сокращениями сердца. Эти пульсации, называемые фотоплетизмограммой, возникают вследствие пульсирующего характера кровотока в сосудах кожи, благодаря которому просвет сосудов изменяется в такт с сокращениями сердца, вызывая соответствующее изменение отражательных свойств кожи.

Таким образом, метод ИК-зондирования, дает возможность с максимальной надежностью даже в экстремальных условиях, получать нужную информацию о реагировании функциональных систем на различные тренировочные и соревновательные нагрузки. В большой степени это связано и с миниатюризацией промышленно выпускаемых датчиков ИК-зондирования.

### Вопросы для самопроверки

1. Что изучает спортивная антропология.
2. Назвать виды антропометрии.
3. Назвать методы антропометрии.
4. Назвать объекты изучения в спортивной антропометрии.
5. Какими параметрами характеризуются пропорции тела спортсмена.
6. Перечислить основные соматологические показатели спортивного мастерства.
7. Что такое механография, для чего она необходима.
8. Принцип действия и основные условия работы механографа.
9. Что такое механограмма движения.
10. Что такое гониограмма.
11. Какие условия необходимы для работы механографа.
12. Сущность работы механографа с потенциометрическим датчиком.
13. Сущность работы механографа с фотоэлектрическим, импульсным датчиком.
14. Что дает метод механографии в спортивной тренировке.
15. Описать устройство механографа для исследования амплитудных

характеристик спортивных движений.

16. Как с помощью механографического устройства оценить физическую подготовленность спортсмена.

17. Как с помощью механографического устройства оценить техническую подготовленность спортсмена.

18. Что такое пространственные характеристики движения.

19. Что такое временные характеристики движения.

20. Что такое пространственно-временные характеристики движения.

21. Что такое абсолютная и относительная сила.

22. Перечислить динамические характеристики поступательного движения.

23. Перечислить динамические характеристики вращательного движения.

24. Охарактеризовать силы, возникающие при выполнении двигательных действий.

25. Что такое преобразование Фурье.

26. Как изображается линейчатый спектр и что он выражает.

27. Что такое спектральная плотность и чем она отличается от линейчатого спектра.

28. Что такое ограниченный спектр и ширина спектра.

29. Объяснить сущность метода электротензометрии.

30. Изобразить функциональную схему электротензометрического оборудования.

31. Объяснить назначение элементов функциональной схемы электротензометрического оборудования.

32. Дать характеристику ЭКГ-исследования сердечной деятельности.

33. Дать характеристику оборудованию для снятия ЭКГ.

34. Как электрокардиографический метод используется в спортивной практике.

35. Дать характеристику электромиографического метода оценки состояния нервно-мышечного аппарата человека.

36. Дать характеристику оборудованию для снятия ЭМГ.

37. Как электромиографический метод используется в спортивной практике.

38. Дать характеристику реографическому методу исследования в спорте.

39. Особенности использования тепловидения в оценке функционального состояния и обменных процессов в организме спортсменов.

40. Особенности использования ИК-зондирования в оценке функционального состояния и обменных процессов в организме спортсменов.

41. Охарактеризовать общность и различия методов тепловидения и ИК-зондирования.

42. Объяснить сущность метода ИК-зондирования на примере базовой функциональной схемы.

## Литература

1. Годик, М.А. Спортивная метрология: учебник для ИФК /М.А.Годик. – М.: Физкультура и спорт, 1988. – С. 57-66.
2. Донской, Д.Д. Движения спортсмена: Очерки по биомеханике спорта / Д.Д. Донской. – М.: ФиС, 1965. – 199 с.
3. Зациорский, В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М.Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
4. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам/ А.Ф.Крайнев. – М.: Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.
5. Левит, Н.Б. Автоматика / Н.Б. Левит, В.К. Подгайный. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1969. – 400 с., ил.
6. Манойлов, В. Е. Электричество и человек: – 3-е изд., перераб. и доп./ В.Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 224 с.: ил.
7. Мартиросов, Э.Г. Методы исследования в спортивной антропологии / Э.Г. Мартиросов. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 199 с., ил.
8. Сальченко, И.Н Двигательные взаимодействия спортсменов./И.Н. Сальченко. – Киев .: Здоров`я, 1980. – 122 с., ил.
9. Сотский, Н.Б. Биомеханика: учеб. для студентов специальности «Спорт.-пед. деятельность» учреждений, обеспечивающих получение высш. образования – 2-е изд., испр. и доп. / Н.Б. Сотский. – Мн.: БГУФК, 2005. – 192 с.
10. Программированное обучение и технические средства в спортивной тренировке /Комитет по физической культуре и спорту при совете министров БССР. Под общ. ред. Н.А Нельга. – Мн.: «Полымя», 1969. – 148 с., ил.
11. Шушкевич, В.А. Основы электротензометрии/ В.А. Шушкевич – Минск, «Вышэйш. Школа», 1975. – 352 с., ил.

## Тема 6. Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека

### 6.1 Особенности проявления двигательных возможностей человека

Существует множество примеров, где проявляются феноменальные двигательные способности человека. Как сенсация было воспринято известие, когда обычный мальчик выполнил более 5 тысяч отжиманий от пола. Другой маленький мальчик в возрасте 1 год и 9 месяцев проплыл в бассейне дистанцию в 33 километра за 15 часов 02 минуты. Известен факт, что еще в 1899 году М.Донтаг присел 6 тысяч раз за 3 часа, он же выполнил 50180 прыжков с места вверх за 6 часов. Можно привести и другие зафиксированные факты проявления феноменальных способностей человека. Так англичанка Хилари Уолкер в 48-часовом беге пробежала 370 километров и 130 метров, побив рекорд Элеоноры Адамс – 227 километров. Поражают, также физические данные француза Патрика Эдлингера, который имея вес тела в 63 килограмма при росте 176 сантиметров способен подтягиваться на любом пальце обеих рук. Известно множество фактов о том как атлеты тянут за собой пассажирские самолеты, железнодорожные вагоны, груженые автопоезда, а некоторые обыкновенные люди в экстремальных ситуациях, могут приподнять за передок автомобиль и многое другое.

Анализируя все это, можно сделать вывод, что у каждого человека существуют скрытые, приближенные к предельным, двигательные способности (возможности), которые он не может реализовать в своей повседневной жизни.

*Важно отметить то, что для спортсмена соревновательные условия и есть те экстремальные условия, в которых он должен полностью реализовать свой двигательный потенциал. Но что все-таки не дает спортсмену в полной мере сделать это?*

Биологические организмы в живой природе, за исключением человека, зачастую находятся в экстремальной ситуации и вынуждены проявлять свои предельные возможности так, как они предельно специализированные. Иное у человека, не имеющего определенной специализации. Живя в достаточно комфортных условиях, когда экстремальные ситуации приняли второстепенное значение, человек потерял необходимость проявлять свои предельные возможности. К примеру, лошадь травоядное, копытное животное (отношение к добыванию пищи определяет специализацию животного в природе) состязается в бегах. За время учета результатов таких действий, было зафиксировано изменение рекордной скорости бега лошади на дистанции 1000 метров, с 62,0 секунд до 58,0 секунд, с разницей в 4,0 секунды (увеличение скорости бега - 6,4%).

В то же время, за всю историю фиксации рекордов в беге человека на дистанцию 400 метров прирост скорости составляет 12,7%.

*Из сопоставимых двигательных возможностей человека и животных просматривается вывод о том, что человек явно не имеет признаков столь типичных для животных двигательной специализации. В то же время, человек в своих двигательных проявлениях (действиях) как потенциально, так и фактически – исключительно универсален. Эта двигательная универсальность, также как и отсутствие двигательной специализации, сыграли решающую роль в эволюции человека.*

Животное, в отличие от человека, вследствие своей специализации, приспособления к соответствующему образу жизни, односторонне скоординировано к выполнению именно определенных жизненных функций и умению максимально использовать свои двигательные возможности в любой момент времени. В случае внезапных изменений внешней среды излишняя специализированность становится опасной для данного вида. Человек же вследствие своей «биологической слабости» - не специализированности, и в то же время «дилетантской гибкости» приспособляемости, справляется с этими ситуациями.

Отсюда и парадокс в эволюции человека. Если бы наши далекие предки, на этапе разделения нескольких ветвей приматов, были бы лучше специализированы в двигательном отношении, что давало бы преимущества перед другими видами, то не появился бы человек. С учетом других примеров напрашивается вывод, что излишняя специализация в двигательных проявлениях (действиях), в некоторых случаях, вредит развитию двигательных способностей человека.

Внешняя среда, где формировались и совершенствуются двигательные способности человека, в первую очередь обусловлена силами гравитации. Поэтому нахождение в условиях стабильной гравитации, даже при постоянных попытках спортсмена интенсифицировать условия своего силового взаимодействия с внешними объектами – объективно содействует стабилизации режимов выполнения движений и стабилизации результатов.

Если мы знаем, что взаимодействия с силами гравитации предопределили в процессе развития человека его морфотип и, во многом – особенности построения и функционирования тканей и внутренних органов, то накопление следов от взаимодействия с силовыми компонентами внешней среды отражается не только в особенностях развития и функционирования нервно-мышечного аппарата, но и в самих результатах двигательных действий, в том числе и в двигательных рекордных максимумах. Следовательно, если можно найти способы изменения воздействий внешней среды на человека в процессе выполнения тренировочных упражнений, то через это можно добиться более существенных изменений в результативности формируемых двигательных действий. Такие способы существуют и базируются на положении, которое гласит «...Наиболее полное

раскрытие естественных двигательных возможностей человека принципиально достижимо лишь в специально созданных для этого искусственных условиях».

## 6.2 Основы создания искусственной управляющей среды

Реализация таких способов осуществляется на основе создания так называемой «искусственной управляющей среды» (ИУС). Отличающимся компонентом теории "искусственной управляющей среды" является организация активных управляющих воздействий на двигательные системы организма спортсмена.

Разработанная И.П.Ратовым теория "искусственной управляющей среды" содержит в себе два компонента.

Первый – это создание таких искусственных условий для воспроизведения различных спортивных упражнений, при которых становится возможным резко ограничить влияние факторов, мешающих естественному выполнению упражнения. Выявление и ранжирование причин, препятствующих максимально полной реализации потенциала двигательных возможностей спортсменов в конкретном упражнении, является основой для последующего определения комплекса искусственно создаваемых условий, в случае использования которых в тренажерах соответствующих конструкций становится возможным существенно ослаблять влияние основных помех, уменьшать непроизводительные энергетические траты, ограничивать вероятность ошибок.

Второй компонент – восполнение дефицита естественных сил, привносимых в процесс выполнения движений внешних искусственно организованных энерго-силовых добавок. В этом случае используются управляющие приемы биомеханико-энергетической экономизации, инструментального контроля и ограничения "двигательной избыточности", приемы предварительного упорядочивания деятельности функциональных систем организма непосредственно перед выполнением тренировочного упражнения (например, низкочастотное вибровоздействие на мышцы). Таким образом, второй компонент - это активное внешнее воздействие на двигательные системы организма.

Специально (искусственно) созданные внешние условия реализуются в виде всевозможных биомеханических стендов, тренировочных приспособлений, тренажеров, спортивного инвентаря и экипировки. В каждом конкретном спортивном упражнении они обеспечивают энергетическую, силовую, координационную помощь спортсмену, предохранение опорно-двигательного аппарата от перегрузок, улучшение управления двигательными действиями. Схематично это отражено на рисунке 6.1. Здесь, все базируется на организации информационной обратной связи. Это необходимо чтобы иметь возможность сопоставлять

реализацию двигательных способностей спортсмена в естественных условиях, при постоянно воздействующих на него внешних факторах, с реализацией двигательных способностей спортсмена в специально созданных искусственных условиях. Такие условия формируются по двум путям. Первый путь – это выработка специальными устройствами дополнительных усилий мышечным напряжениям спортсмена (энерго-силовые добавки). Например, у юного гимнаста, при освоении техники такого силового упражнения, как выход в «крест» и удержания нужной позы, явно недостаточные силовые возможности. Поэтому, чтобы минимизировать, или исключить это явление, тело гимнаста, с помощью блочной системы, соединяют с противовесом, уменьшающим действующую массу тела, что в свою очередь, позволяет управлять силами гравитации, противостоящими мышечной системе гимнаста. Это обеспечивает возможность гимнасту беспрепятственно совершенствовать свою техническую подготовленность в названном упражнении.

Точно также можно посмотреть и каким потенциалом двигательных-координационных способностей располагает данный гимнаст, если опять исключить и уменьшить внешние, постоянные факторы мешающие раскрытию этих способностей. А это ни что иное, как определение так называемого “двигательного будущего” в плане совершенствования, в данном случае, двигательных-координационных способностей юного гимнаста.

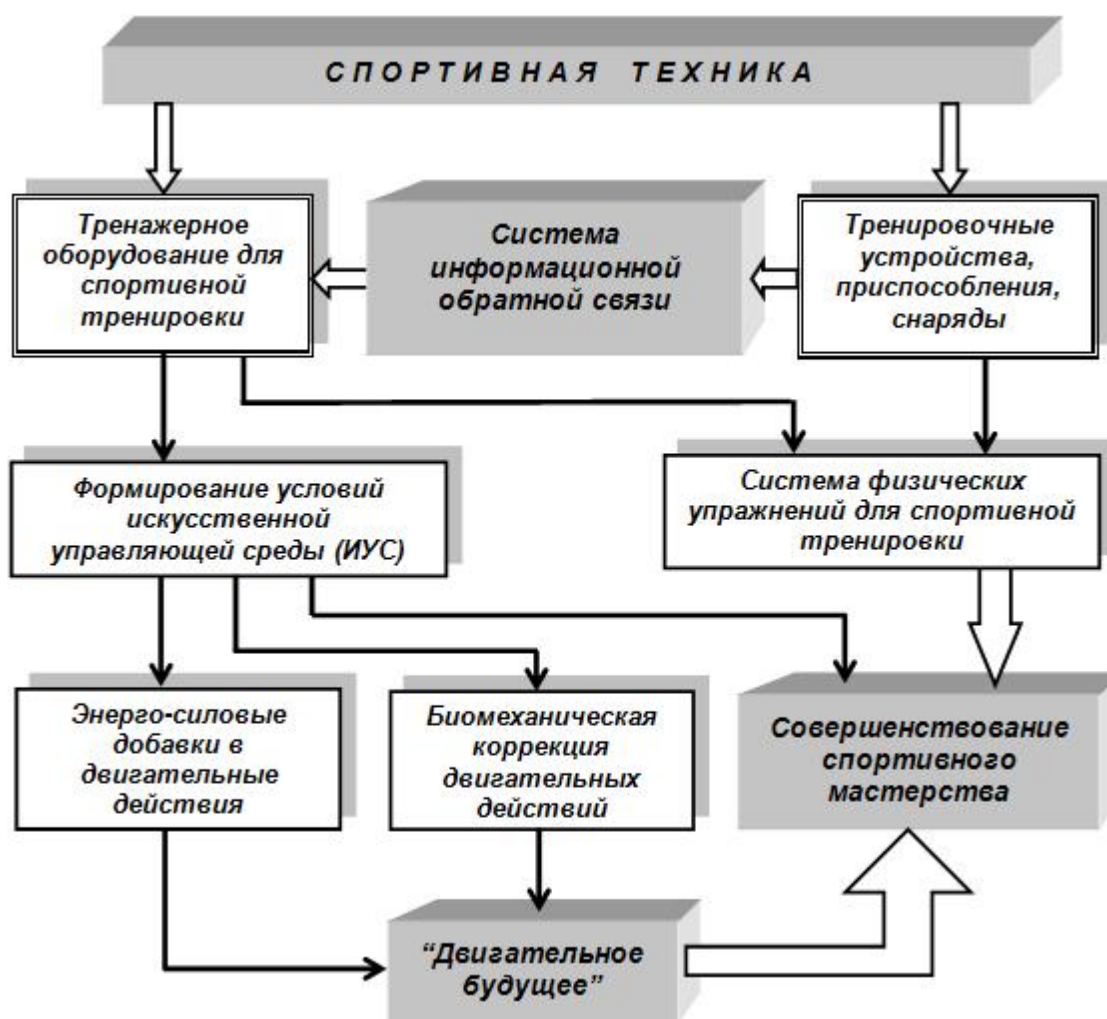


Рисунок 6.1 Схема реализации концепции «Искусственная управляющая среда» с использованием технических средств при тренировке квалифицированных спортсменов

«Двигательное будущее» – это, еще не раскрытое состояние спортсмена, характеризующее его личные, рекордные двигательные проявления, которые он может исполнить в процессе своего спортивного совершенствования.

Определение такого «двигательного будущего» является важнейшим направлением концепции «искусственная управляющая среда».

То же имеет место и у легкоатлета, бегущего на движущейся беговой дорожке, будучи зафиксированным над ней специальным подвесом. Причем, здесь имеется два варианта, - это когда изменяется скорость движения полотна дорожки, или специальный с регулированием подвес, уменьшает давление массы тела бегуна на поверхность движущегося полотна беговой дорожки (уменьшение сил гравитации на тело бегуна).

Если рассматривать действие таких постоянных внешних факторов, как водная среда то необходимо обратиться к спортивному плаванию.

Например, если квалифицированный пловец, при его буксировке специальной лебедкой, установленной на бортике плавательного бассейна, на



скорости, на 5÷10% превышающей свою абсолютную скорость, окажет меньшую нагрузку на буксирующее устройство, чем другой, аналогичный пловец с такими же данными, то совсем очевидно, что первый пловец обладает большими перспективами в своем двигательном будущем в плане реализации своих скоростных способностей. Это показывает, что резервы этого пловца еще полностью не раскрыты.

Второй путь – это биомеханическая коррекция двигательных действий, основанная на использовании управляющих приемов биомеханико-энергетической экономизации, инструментального контроля и ограничения "двигательной избыточности", заключающейся в потере требуемой координации в работе мышечной системы спортсмена из-за влияния, опять же, внешних факторов. Для осуществления биомеханической коррекции двигательных действий наиболее значимым является прием упорядочивания деятельности функциональных систем организма.

Этот прием осуществляется путем фиксации опоры, частей тела спортсмена относительно опоры, фиксации спортивного снаряда, либо его характерной траектории движения.

Здесь в качестве примера можно использовать тренажер для тренировки конькобежца (рисунок 6.2).

Тренажер для тренировки конькобежца, конструкция которого показана на рисунке 6.2 включает в себя: беговую дорожку с движущейся лентой 1; гибкий захват для туловища и поясицы 2; тяговый трос 5 с пружинным компенсатором 3 и системой блоков 4; тросовый барабан 7 на валах электропривода 8, 9; указатель силы натяжения тросового троса 6; пульт индикации и управления электроприводом и беговой дорожкой 10.

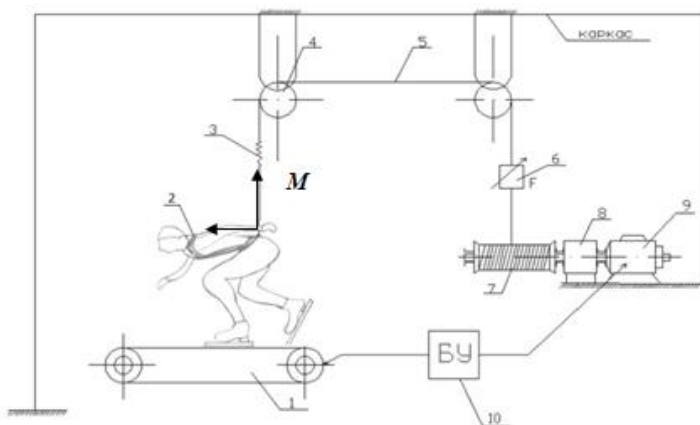


Рисунок 6.2 Тренажер для тренировки конькобежца

Основной задачей этого тренажера является повышение эффективности тренировки за счет длительного удержания рабочей позы конькобежца, разрушающейся от наступления утомления, при противодействии конькобежцем силам гравитации, трения лезвий коньков о лед и сопротивления воздушной среды.

В результате интенсивной работы мышечной системы конькобежца проявляется видимый эффект утомления, из-за раскоординированности мышц, участвующих в циклических повторяющихся двигательных действиях. Здесь в движения подключаются менее уставшие мышцы, в результате чего конькобежец стремится выпрямить туловище

подниманием вверх своего плечевого пояса. Противодействует этому явлению энерго- силовая добавка, одновременно корректирующее действие, вызванное натяжением тягового троса 5 с усилием заданным электроприводом 8, 9. В результате этого в области поясницы конькобежца создаётся опрокидывающий вперед момент  $M$ , препятствующий и в тоже время ограничивающий движение туловища вверх, в результате чего конькобежец вынужден сохранять свою рабочую позу.

Созданная таким образом искусственная управляющая среда позволяет успешно решать основные задачи спортивной тренировки не только на этапе совершенствования спортивного мастерства, но и в процессе обучения и совершенствования двигательных действий.

Следует обратить внимание и на возможности искусственного управляющего окружения (среды) при формировании движений с рекордной результативностью с различными, созданными для этих движений устройствами. Например, – применение мышечной силы для наиболее ускоренного перемещения на биотранспорте. При использовании различных модификаций такого преобразователя мышечных усилий (при езде на велосипеде), достигаемые скоростные максимумы зависят от возможностей уменьшить сопротивление встречного воздушного потока. На преодоление такого потока, уже на скорости свыше 11 м/с (40 км/час), может тратиться 90% от суммы сил, препятствующих движению системы «спортсмен-велосипед».

Поэтому, применение приемов устранения встречного сопротивления воздушной среды, за счет лидирования с движущимся перед велосипедистом специальным «ветроломом», позволяет более чем в двое превысить показатели скорости, достигаемой в процессе естественного педалирования. При применении «ветролома» А.В. Эбботт в 1973 году сначала достиг скорости 223,168 км/час (61,99 м/с), а потом довел свой рекордный результат уже до 240 км/час или же 66,6 м/с. Еще более высокий результат показывает в 1985 году Джон Говард, который используя лидирование за гоночным автомобилем с рассекающим колпаком, проносится по поверхности высохшего соленого озера со скоростью 244,7 км/час (67,972 м/с). При этом гонщик использовал велосипед с двойной цепной передачей такого рода, что на один оборот (нажим) педалей, обеспечивал прохождение 30 метрового расстояния. Функциональная схема подобной системы «спортсмен-велосипед-лидер», для установления рекордной скорости, при педалировании, приведена на рисунке 6.3.

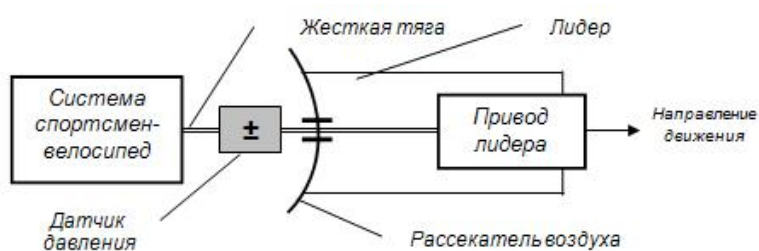


Рисунок 6.3 Система «спортсмен-велосипед-лидер» для установления рекордной скорости при педалировании.

Основным элементом этой системы является жесткая тяга, образующая механическую связь системы спортсмен-велосипед и элементов управления приводом лидирующего устройства. Левая и правая части тяги

неподвижно соединены между собой датчиком давления. Кроме того, сама тяга проходит через середину рассекателя воздуха смонтированного на заднем обтекателе гоночного автомобиля, выполняющего, вместе с обтекателем функции лидирующего устройства. Во время работы системы «спортсмен-велосипед-лидер», спортсмен, активизируя педалирование, давит на датчик, вырабатывающий управляющее напряжение с положительным значением, в результате чего лидирующее устройство пропорционально давлению ускоряется и рассекатель, разрежением воздуха находящегося за ним, создает тянущий момент. Если спортсмен начинает отставать, датчик вырабатывает отрицательное управляющее движение, что заставляет лидирующее устройство пропорционально замедлять скорость.

Таким образом ИУС вносит и значительный вклад в создание технологического оборудования необходимого при конструировании и испытании перспективных образцов спортивной техники, инвентаря, снаряжения.

Кроме того, если считать, что человек, во время реализации своего двигательного потенциала, является по существу самонастраивающейся и саморегулирующейся системой, то именно ИУС будет способствовать активизации и совершенствованию названных функций системы. Это явление, – основное условие приспособленческих реакций (адаптации к внешней среде) с точки зрения совершенствования спортивного мастерства и достижения рекордных результатов.

Помимо спортивной тренировки и создания перспективных образцов спортивной техники, «искусственная управляющая среда» имеет важное значение в организации занятий с лицами с пораженными двигательными функциями. Основной целью, здесь, является ускоренное восстановление утраченной или ослабленной двигательной функции в условиях воздействия внешних энерго-силовых добавок, восполняющих недостаточность естественного двигательного потенциала и обеспечивающих на искусственной основе, все более активное воспроизведение естественных действий, осуществляющих роль средств двигательной терапии. Критерием, к которому нужно стремиться при достижении поставленной цели, является «здоровое двигательное прошлое».

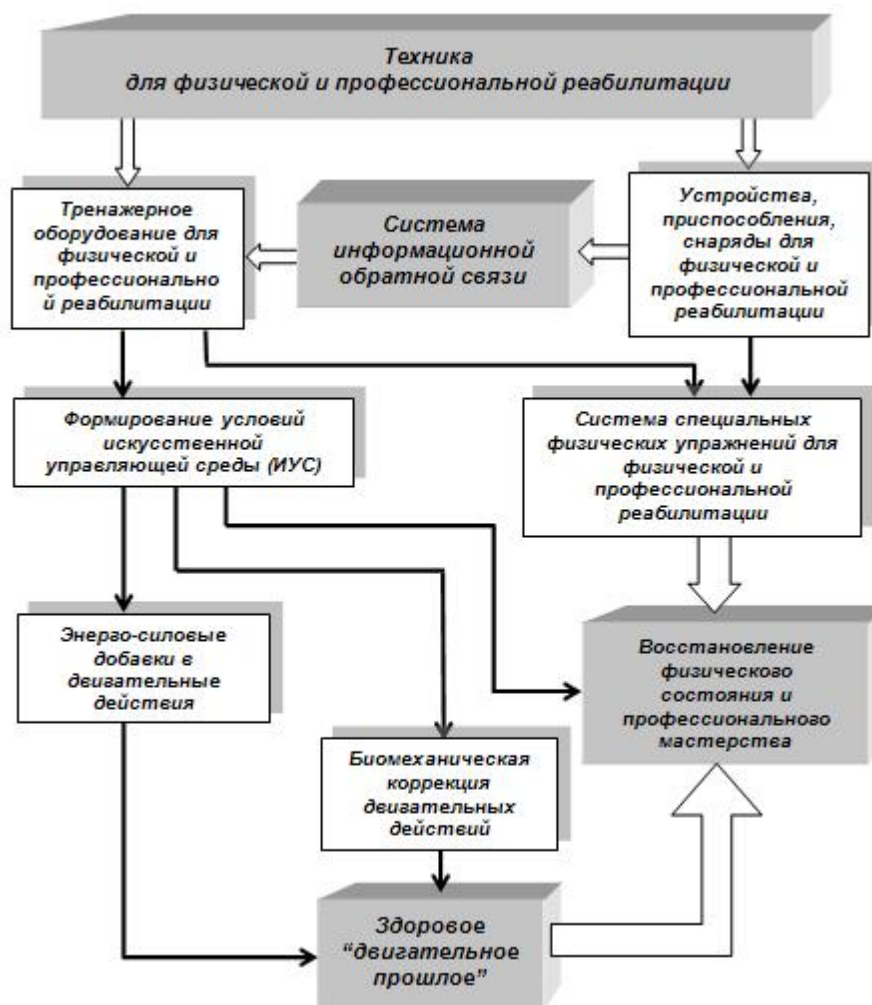


Рисунок 6.4. Схема реализации концепции «Искусственная управляющая среда» с использованием технических средств в физической и профессиональной реабилитации

*«Здоровое двигательное прошлое»* – это состояние систем организма человека, его профессиональных навыков и умений до травм или заболеваний, повлекших за собой нездоровые изменения в организме, потери необходимых профессиональных навыков и умений.

Следует обратить внимание, что задачи выведения спортсмена на исключительно рекордный результат, так и задачи восстановления человеком утраченных двигательных функции с возвращением ему способностей полноценной жизни сопоставимы по методологии (рисунки 6.1 и 6.4) и по сложности. Причем, последние требуют значительно большего внимания и более тонких режимов взаимодействия с ИУС.

### 6.3 Особенности взаимодействия человека с различными устройствами и оборудованием

Особенности взаимодействия человека с различными устройствами и оборудованием удобнее всего рассмотреть с точки зрения

функционирования подсистем «человек-оператор» и «человек-спортсмен» в системах «человек-оператор-машина» и «человек-спортсмен-тренажер». Элементы названных систем, «человек-оператор» и «человек-спортсмен», в своей аналогии, являются интегральными и определяющими звеньями любой системы управления, независимо от степени автоматизации ее работы. Будь это, какая либо машина, где «человек-оператор» реализует свои функции, или спортивный тренажер, с которым взаимодействует спортсмен. Именно эти два человека (звена) принимают принципиальные решения, что и как делать. Причем, эти решения и возможности обоих, определяются степенью интеграции с используемым оборудованием.



Рисунок 6.5 Функциональные свойства системы «человек-оператор» и «человек-спортсмен»  
 Ч-О - «человек-оператор»;  
 Ч-С - «человек-спортсмен»;

X – прием информационного сигнала с контура обратной связи;  
 Y – выработка ответного действия.

Единственным различием здесь является то, что оператор в системе человек-машина функционирует в максимально комфортных условиях, поскольку несет юридическую ответственность за свои действия, а человек-спортсмен в системе спортсмен-тренажер,

зачастую, действует в условиях, приближенных к экстремальным, причем на фоне наступающего утомления.

В функциональном плане, системы «человек-оператор» и «человек-спортсмен» можно представить двухстороннего преобразователя (рисунок 6.5). Здесь, у «человека-спортсмена», входная величина  $X$  – это информация об изменении параметров движения, функционального состояния (например ЧСС), ситуации. Величина  $Y$  – это внутренняя реакция организма на входную величину  $X$ , выраженная в подготовке к действиям. Аналогично и у системы «человек-оператор». Отсюда можно сделать вывод, - эффективность функционирования систем «человек-оператор» и «человек-спортсмен» всецело зависит от физического, функционального, а также психологического состояния этих систем, выраженного чувствительностью сенсорных систем, скоростью обработки и объемом принятой информации, быстротой сложной и простой реакции, способностью правильно осмыслить и организовать предстоящие двигательные действия. Например, скорость обращения информационного сигнала канала обратной связи, в первую очередь, зависит от длительности латентного периода  $t_{лп}$  (время от момента появления сигнала средней интенсивности до появления ответа систем «человек-оператор» и «человек-спортсмен»). Для уменьшения погрешностей в работе названных систем оптимизируют темп приема и количество информации (сигналов)  $X$  и выработки ответных сигналов  $Y$ .

Зная особенности систем «человек-оператор» и «человек-спортсмен», следует рассмотреть принципы их взаимодействия, но уже в системах «человек-оператор-машина» и «человек-спортсмен-тренажер».

При функционировании системы «человек-спортсмен-тренажер», характерны следующие взаимосвязи ее звеньев и систем (рисунок 6.6).

Точно также и здесь «человек-спортсмен», в своей аналогии, являются интегральным и определяющим звеном системы управления, тренажерным устройством в не зависимости от его сложности. Только сейчас – это уже система «человек-спортсмен-тренажер», которая как и система «человек-оператор-машина», может функционировать в двух режимах: «человек-инструмент» и «человек-машина». Эти два режима функционируют на основе свойств, показанных на рисунке 6.6.

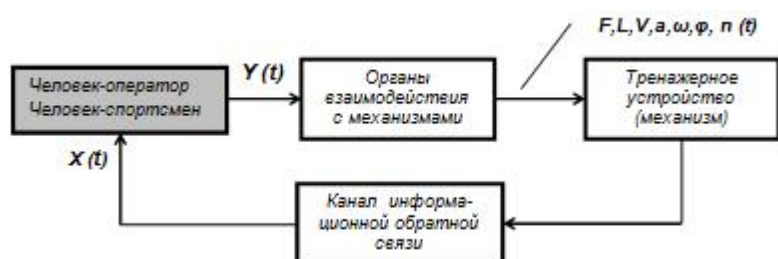


Рисунок 6.6. Функциональные свойства системы «человек-спортсмен-тренажер»

Здесь, готовность выполнить соответствующее действие  $Y$  реализуется во времени, через органы взаимодействия с механизмами тренажера, а исполнительный элемент этого тренажера

противодействует двигательной системе спортсмена, информируя спортсмена об изменениях прошедших за это время. Канал информационной обратной связи, при этом, создает спортсмену информационный сигнал  $X$ . Следует отметить, что подобное более характерно для режима «человек-инструмент», когда основным источником управления, является энергия и координация мышечной системы человека, например работа на велотренажере.

В режиме «человек-машина» человек не является источником мышечной энергии, так как здесь человек-оператор определяет время, место и характер ввода сигнала. Здесь приходится манипулировать тонкими движениями, что необходимо для эффективного взаимодействия с механизмами имитирующими органы управления сложной техникой, различными кнопочными или рычажными регуляторами, джойстиком, компьютерной мышью, и многим другим.

При изучении особенностей взаимодействия человека с различными устройствами и оборудованием необходимо помнить, что педагогической составляющей, определяющей процессы создания спортивной техники здесь не просматривается. С педагогической составляющей наиболее взаимосвязаны потребительские и методические свойства создаваемых технических средств спортивного назначения. Здесь речь идет о теоретической основе совершенствования эксплуатационных свойств таких средств, если базовой основой конструирования является приборостроение.

### Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать особенности формирования человека как вида.
2. За счет каких факторов сформировались двигательные возможности человека.
3. О чем гласит концепция «искусственная управляющая среда».
4. На основе каких критериев реализуется концепция «искусственная управляющая среда».
5. Что такое энергосиловые добавки и как они привносятся в двигательные действия спортсмена.
6. Что такое биомеханическая коррекция двигательных действий спортсмена и как она реализуется в специфических движениях.
7. Перечислить постоянные внешние факторы, противодействующие двигательным действиям спортсмена.
8. В чем суть понятия «двигательное будущее».
9. Каким образом можно определить «двигательное будущее» спортсмена.
10. Что такое «здоровое прошлое человека» и каким образом оно достигается.
11. В чем заключается суть понятий «человек-оператор» и «человек-спортсмен».
12. Объяснить общность и различие понятий «человек-оператор» и «человек-спортсмен».
13. В чем заключается суть понятий «человек-оператор-машина» и «человек-спортсмен-тренажер».
14. В каких режимах могут функционировать системы «человек-оператор-машина» и «человек-спортсмен-тренажер».

### Литература

1. Ломов, Б.Ф. Человек и техника: Очерки инженерной психологии / Б.В. Ломов. – М.: Сов. Радио, 1966. – 355 с., ил.
2. Ратов, И.П. Двигательные возможности человека. Нетрадиционные возможности их восстановления/И.П. Ратов – Мн., 1994. – 190 с.
3. Ратов, И.П. Концепция «искусственная управляющая среда», ее основные положения и перспективы использования// Научные труды 1995 г. – Т.1– М.: ВНИИФК, 1996. – С. 129-148.
4. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов. Радио, 1980. – 480 с., ил.
5. Тимошенко, В.В. Тренажеры в велосипедном спорте / В.В. Тимошенко. – Мн., 1994, – 126 с.

## Тема 7. Функциональные элементы технических устройств

### 7.1 Элементы взаимодействия спортсмена с тренажером

В системе «спортсмен-тренажер», спортсмен функционирует с тренажером через элементы взаимодействия и исполнительные элементы. Элементы взаимодействия спортсмена с тренажером – это приспособления, либо их комплекс, в соприкосновении с которыми спортсмен, в определенном положении тела, выполняет заданные действия и получает необходимую нагрузку на свои мышцы или информацию о реализации подобных действий через систему своих зрительных, слуховых или тактильных анализаторов.

В первом случае спортсмен выполняет взаимодействия с механизмами нагружающими его мышечную систему, во втором выступает в качестве своеобразного приемника получения информации о своих двигательных действиях и вырабатывающего решение о коррекции, либо дальнейшего управления этими действиями. Примером такого, может быть тренировочный стенд для бегуна или велосипедиста отражающий на экране, расположенном перед спортсменом, рельеф трассы и в соответствии с этим рельефом изменяющим нагрузку на мышечную систему спортсмена. Если получаемая информация направлена на обучение специфическим действиям, и указывает, как они выполняются, то в таком случае элементы взаимодействия спортсмена с тренажером выполняют функции исполнительного элемента.

При взаимодействии с спортсмена с механизмами нагружающими его мышечную систему, опора на которую воздействует спортсмен, например рукоять рычага, должна обеспечить нужную зависимость сопротивления от величины перемещения и иметь перекрытие диапазона своего перемещения, как минимум  $\pm 10\div 15\%$  от максимального значения этого перемещения.

Основными элементами взаимодействия спортсмена с тренажером можно считать всевозможные рукоятки рычагов для захвата кистью руки, захваты и ремни для фиксации частей конечностей плечевого пояса, нижних конечностей, туловища, различные педали с фиксацией и без фиксации стопа ноги и многое другое. Следует обратить особое внимание на конструкцию опоры для тела спортсмена, или его конечностей для реализации нужных двигательных действий. От этого напрямую зависит качество передачи параметров движения спортсмена на тренажер и величины реакции такого устройства, в нужный момент времени или точки траектории.

Система «спортсмен-тренажер» функционирует в рамках жестких ограничений вызванных требованиями, например, технико-тактической подготовки, где  $I_{ном}$  – заданное или номинальное значение параметра двигательного действия, определяемого особенностями самого спортсмена. Фактический параметр двигательного действия спортсмена, передаваемого на



элементы взаимодействия спортсмена с тренажером  $I_{сп}$ , учитывает особенности не только спортсмена, но и особенности конструкции тренажера. Приведенные величины носят преимущественно статистический характер, а их соотношение позволяет оценить точность решения двигательных задач в системе «спортсмен-тренажер».

Величина погрешности, с которой функционирует система «спортсмен-тренажер»:

$$Y = I_{ном} - I_{сп}.$$

Эта величина может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

Для объективной оценки параметров двигательных действий  $I_{ном}$  и  $I_{сп}$  необходимо использовать специально сконструированные манипуляторы и приспособления, моделирующие и контролирующие параметры двигательных действия спортсмена.

Когда совокупность элементов взаимодействия спортсмена с тренажерной системой, рассматривается в виде своеобразного динамического звена, то соотношение выходного параметра к параметру двигательного действия на входе, выражается некоторой передаточной функцией. Это означает, что реакция для совокупности элементов взаимодействия спортсмена с тренажерной системой на выходе, должна полностью соответствовать двигательным действиям на входе. Если на выходе есть  $I_{сп}(p)$ , а на входе -  $I_{ном}(p)$ , то передаточная функция, или же коэффициент передачи совокупности элементов взаимодействия спортсмена с тренажерной системой  $K_v$  имеет вид:

$$K_v(p) = \frac{I_{сп}(p)}{I_{ном}(p)}$$

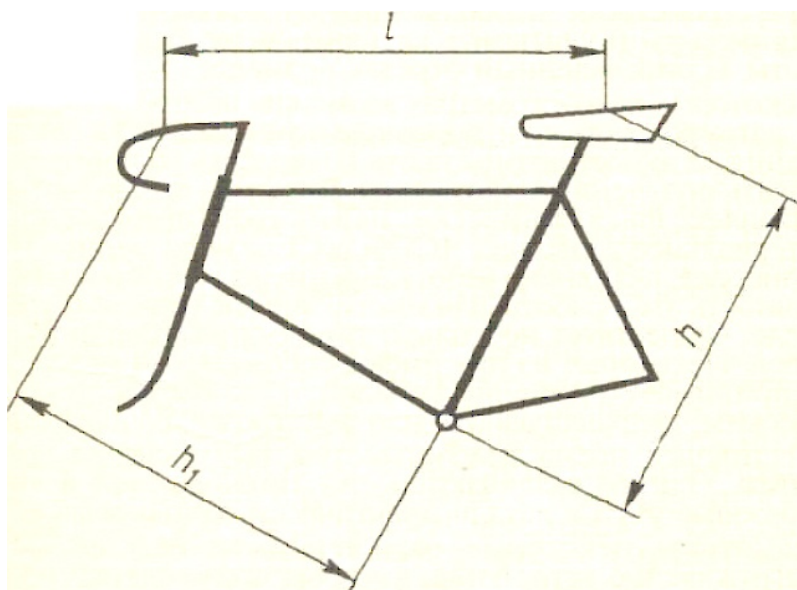


Рисунок 7.1 Расположение совокупности элементов взаимодействия велотренажерной системы со спортсменом.

выражение записано в операторной форме .

Для идеально сконструированной системы взаимодействия спортсмена с тренажерной системой  $K_v = 1,0$ . При  $K_v < 1$  имеет место несовершенство конструкции комплекса элементов взаимодействия спортсмена с тренажером. Спортсмен действующий в подобной системе, имеет возможность допускать ошибочные действия вовсе

не связанные с недостатком его технико-тактической подготовленности

На практике, взаимодействие захватов и опор наиболее ярко проявляется в велосипедном спорте, где с целью получения максимального коэффициента передачи комплекса элементов взаимодействия с велосистемой ( $K \rightarrow 1,0$ ) - необходимо определить оптимальные параметры посадки на велосипед. Определить рациональную посадку на велосипед, велотренажер, или другое средство, основанное на педалировании ногами, можно, если воспользоваться рисунком 7.1 и таблицей 7.1.

Выбор посадки на велотренажер, с учетом приведенных данных считается оптимальным, и  $K_v$  максимально приближен к единичному значению.

Необходимо провести в такой посадке несколько занятий для адаптации к ней, невзирая на имеющийся в каждом велотренажере нужный набор приспособлений для изменения посадочных параметров.

Таблица 7.1

Параметры посадки на велосипеде в зависимости от длины тела человека

Длина тела (см)	Параметры посадки		
	Высота седла (h)	Длина посадки (L)	Контрольный размер (h1)
160	63	62	74
165	66	64	75
170	69	65	76
175	72	67	77
180	75	69	78

185	77	71	79
190	80	73	80

При взаимодействии человека с приборами и механизмами чаще всего используется зрительный, слуховой и достаточно часто в спорте, - тактильный анализатор. Наибольшее количество информации в системе «спортсмен-тренажер», спортсмен получает с помощью зрительного анализатора ( $\sim 70 \div 80\%$ ), меньше с помощью слухового анализатора ( $\sim 15 \div 20\%$ ), и ( $\sim 5 \div 10\%$ ) – тактильного. Однако не следует забывать, что значимость слухового и особенно тактильного анализатора существенно возрастает в зависимости специфики двигательных проявлений в некоторых видах спорта. Это имеет место в любых сложно-координационных видах спорта, игровых видах спорта и единоборствах. Важно также обратить внимание, что в зависимости от внешних и отдельных случаях – факторов, любой из перечисленных анализаторов может быть перегружен. В качестве примера, - усложненное взаимодействие с тренажером, либо переизбыток нужной, или ненужной информации, усталость организма спортсмена. На анализаторы спортсмена, с учетом их физиологических особенностей, воздействуют:

- визуальные индикаторы, в виде проекционных, матричных цифровых табло, счетчиков, шкал, светофоров, светопланов и др;

- акустические индикаторы, в виде громкоговорителей, головных телефонов, зуммеров или свистков. К тактильным индикаторам можно отнести специальные приспособления, вырабатывающие целенаправленные механические воздействия на отдельные участки тела спортсмена, например вибрирующий захват-рукоятка или опорная площадка для конечности.

Следует обратить внимание, что информационные системы, при определенных условиях, могут выполнять функции исполнительных элементов, отражая изменение определенной ситуации или смену самой ситуации.

## 7.2 Исполнительные элементы спортивной техники.

Рассматривая систему «спортсмен-тренажер» в виде подсистемы, связанной с ручным либо автоматическим регулированием, следует обратить внимание на то, что выходная величина этой подсистемы всецело зависит от особенностей её исполнительного элемента.

*Исполнительный элемент (исполнительное устройство)*, это функциональный элемент системы управления, осуществляющий заданное воздействие на объект управления путем изменения потока энергии и потока материалов, поступающих на объект.

Существующие исполнительные элементы делятся на два вида:

- с механическим двигателем (сервомотор, серводвигатель или

сервопривод), в этом случае исполнительный элемент производит механическое перемещение регулирующего органа;

- с электрическим выходом, здесь воздействие, прикладываемое к объекту регулирования, имеет электрическую природу (применительно к спортивной тренировке, имеет отношение только к информационным свойствам исполнительного элемента).

В спортивной технике исполнительный элемент своими действиями моделирует (обеспечивает) взаимодействие спортсмена с внешней средой. Это выражается в создании условий искусственного управляющего окружения. Здесь исполнительный элемент может обладать нагрузочными свойствами, при воздействии на динамические, пространственные или временные параметры движений, либо информационными, - показывая (отражая) информацию необходимую для решения задач по организации и реализации нужных двигательных действий.

*Информационные свойства исполнительного элемента* характеризуются, тем, что спортсмен является приемником получения информации о своих двигательных действиях. Это означает необходимость надежной взаимосвязи индицирующих систем тренажера с биоанализаторами спортсмена.

*Нагрузочные свойства исполнительного элемента*, аналогичны свойствам любой системы регулирования, работающей с механическими нагрузками, - до 4000Н в статическом и до 12000 Н в импульсном режиме работы, а также временными перепадами не менее 0,005 сек.

В зависимости от объекта, в данном случае – это мышечная система и биоанализаторы спортсмена, и вида энергии подводимой к исполнительному элементу, его роль могут выполнять самые различные устройства и механизмы. К ним относятся: электронные, электромашинные, магнитные или полупроводниковые усилители, всевозможные рел, электрические, пневматические или гидравлические сервомоторы и др.

Динамические характеристики исполнительных элементов с механическим выходом отличаются значительно большей инерционностью, чем элементы с электрическим выходом, так как скорость протекания электрических процессов на много порядков выше механических. Зачастую исполнительные элементы второго типа служат приводом исполнительных элементов первого типа, например, электронный усилитель мощности, управляющий электродвигателем постоянного тока. Сервоприводы основанные на подобной комбинации, применяющиеся в качестве исполнительных элементов с механическим выходом, отличаются специальным исполнением обеспечивающим пониженную инерционность (удлиненный или полый ротор уменьшенного диаметра). Значительно меньшую инерционность при той же мощности имеют гидравлические или пневматические серводвигатели.

Электрические двигатели, как основа сервопривода, широко

применяются в практике спортивного приборостроения. Наибольшее внимание уделяется различным модификациям двигателей постоянного тока с независимым возбуждением и двухфазным асинхронным двигателем (рисунок 7.2).

Электродвигатели с независимым возбуждением управляются со стороны якоря (рисунок 7.2 А). Здесь надо учитывать, что большинство двигателей имеют небольшую зону нечувствительности, которая определяется напряжением трогания с места, т. е. минимальным напряжением, подводимым к двигателю, чтобы его якорь тронулся. Управление со стороны обмотки возбуждения затруднительно вследствие большой инерционности магнитного поля этой обмотки. Для эффективного управления двигателем требуются сигналы значительной мощности.

Применительно к спортивной практике, если в исполнительном элементе тренажера или тренировочного устройства функционирует, например, двигатель постоянного тока, с номинальной мощностью не превышающей 1,5 кВт, мощность управляющего им сигнала должна быть не ниже 70÷80% от этого номинала.

Это указывает на необходимость использования достаточно мощных преобразователей управляющих сигналов, несмотря на то, что мощности электродвигателей выше приведенного номинала в 1,5 кВт, в спортивной технике не применяются.

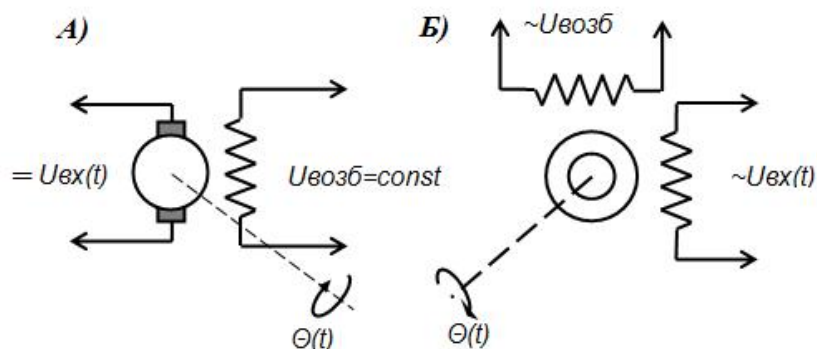


Рисунок 7.2 Электрический двигатель как исполнительный элемент спортивной техники  
А – с управлением по цепи якоря; Б – с управлением по цепи возбуждения

В маломощных исполнительных системах эффективно работают двухфазные асинхронные двигатели (рисунок 7.2 Б). Они имеют малую зону нечувствительности и обеспечивают удобство согласования с питающими их усилителями

переменного тока.

Входным сигналом для электродвигателей (рисунок 7.2) является напряжение  $U_{vx}(t)$ , выходным – угол поворота вала якоря  $\Theta(t)$ , или его вращающий момент  $M_v$ .

Скорость вращения якоря двигателя в установившемся режиме пропорциональна входному напряжению. Если питающее напряжение (управляющее) изменяется медленно то инерцией якоря можно пренебречь.

Однако в реальности, при использовании двигателей в механических

исполнительных системах, входные сигналы изменяются достаточно быстро, поэтому приходится считаться с инерцией двигателя. При резком изменении питающего напряжения двигатель сравнительно плавно изменяет число оборотов, реагируя на входной сигнал подобно инерционной системе.

Инерционность двигателя, любого исполнения определяется, в первую очередь, его конструктивными особенностями, материалами из которых он изготовлен и технологией изготовления.

В условиях внешней искусственной среды управление движениями человека определяется характеристиками объекта регулирования и требуемым качеством процесса регулирования.

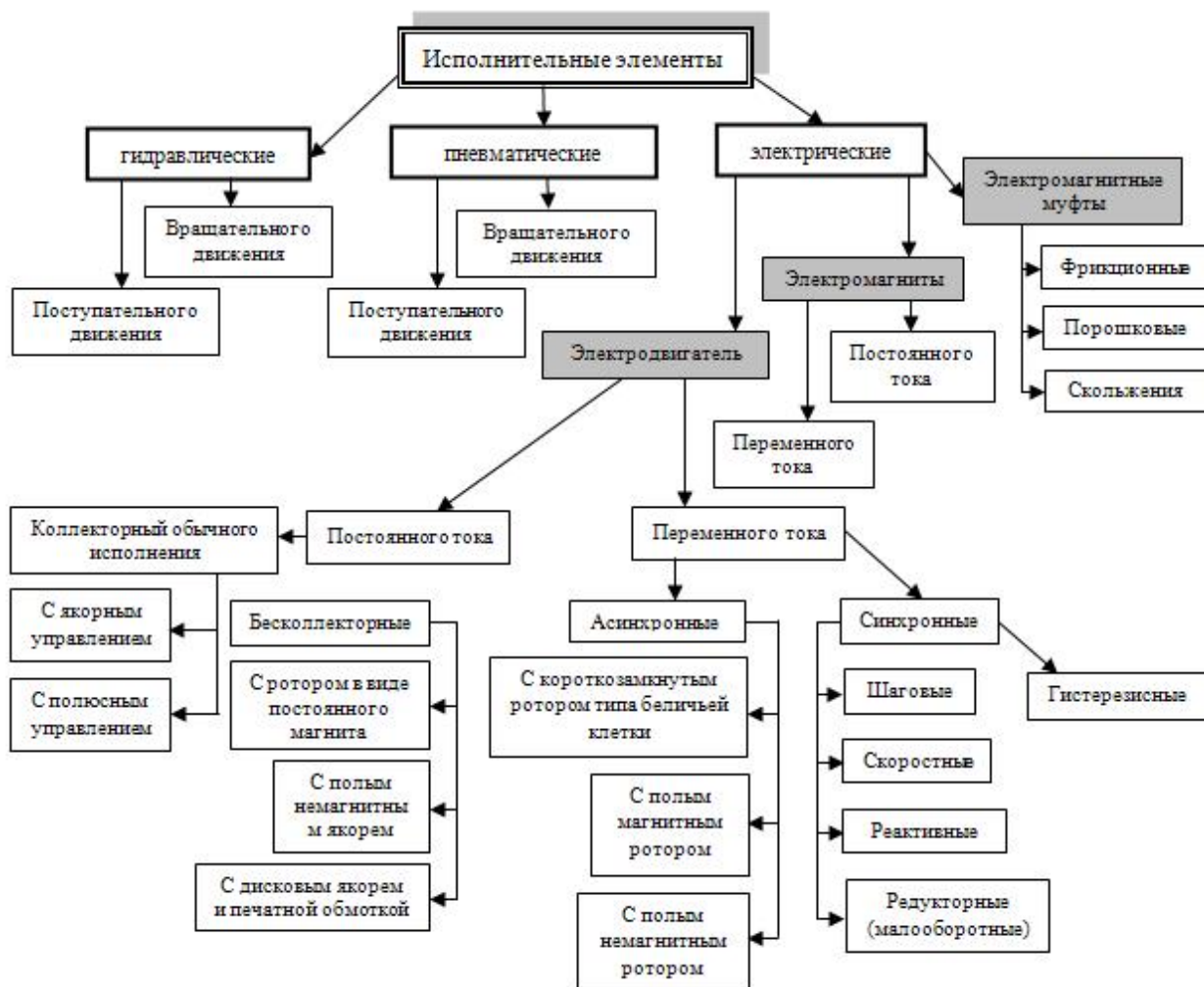


Рисунок 7.3 Примерная классификация механизмов общего назначения, используемых для создания исполнительных элементов спортивной техники

Используемые механизмы исполнительных элементов очень разнообразны.

Такие элементы могут классифицироваться по назначению и типу управляемых элементов, виду осуществляемых перемещений (действий). При их классификации учитывается, вид энергии, создающей усилие или момент, перемещение регулирующего органа (РО) исполнительного элемента. Соответственно, механизмы исполнительных элементов бывают

пневматическими, гидравлическими, электрическими, механическими, комбинированными. По конструкции они могут быть электродвигательные, электронные, электромагнитные, поршневые, мембранные и т.п. (для гидропневматики), механические, комбинированные.

Один из вариантов классификации исполнительных элементов общего применения показан на рисунке 7.3. Эта классификация охватывает все основные устройства и механизмы, образующие исполнительные элементы, предназначенные для создания управляющего воздействия на двигательные действия спортсменов.

### 7.3 Первичные измерительные преобразователи (датчики)

Создать современный и эффективный спортивный тренажер невозможно без создания надежной управляющей и информационной обратной связи, основой которой являются элементы и приборы для измерения и контроля параметров движений и биологического состояния организма спортсмена.

Для измерения и контроля параметров движений и биологического состояния организма спортсмена используются устройства, называемые *преобразователями неэлектрических величин в электрические*.

Наряду с термином «*измерительный преобразователь*» или «*первичный преобразователь*» в технической литературе часто встречается другой термин – «*датчик*», имеющий одинаковое с первым значение. Под «*датчиком*» понимается конструктивно законченный преобразователь, предназначенный для выполнения определенной функции (например, датчик давления, датчик скорости) безотносительно к заложенному в нем принципу преобразования.

Современные элементы и приборы для преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы, используемые в спортивном приборостроении, чрезвычайно разнообразны по принципу преобразования и конструктивному исполнению. Причем, сам процесс преобразования самым непосредственным образом выражен в измерении преобразуемой величины в единицах пропорциональных току, напряжению, сопротивлению, емкости или индуктивности. Обобщенная структура преобладающего их большинства показана на рисунке 7.4.



Рисунок 7.4 Блок-схема системы для измерения неэлектрических величин

Когда необходимо одновременно характеризовать и принцип преобразования, в название датчика включается соответствующее определение, например пьезоэлектрический датчик давления. Структурные схемы реальных систем для измерения неэлектрических величин значительно сложнее схемы, показанной на рисунке 7.4 и включают в себя различные аналоговые или цифровые устройства, устройства беспроводной передачи данных об измеряемой величине, коммутационные устройства для многоточечных измерений.

Преобразователи неэлектрических величин в электрические (датчики), являются одними из наиболее значимых функциональных элементов спортивной техники. Именно через них вырабатываются управляющие сигналы на исполнительные элементы и образуются цепи обратной связи, дающие возможность скорректировать отдельные отклонения в работе исполнительных элементов и элементов взаимодействия спортсмена с тренировочной системой.

Общие определения и условия для обеспечения надежной работы преобразователей неэлектрических величин в электрические в устройствах спортивной техники:

*Входная величина* – механическая или биологическая величина, являющиеся следствием функционирования механизмов тренажерной системы или организма спортсмена, воздействующая на преобразователь и трансформируемая последним в электрический сигнал.

*Выходная величина* – физическая величина, получаемая на выходе прибора как результат преобразования, усиления, других трансформаций. Это могут быть сигналы напряжения или тока, положения всевозможных указателей, индикаторов и пр.

*Чувствительность преобразователя* – отношение изменения сигнала на выходе преобразователя  $\Delta y$  к вызывающему его изменению измеряемой величины  $\Delta x$  ( $S = \Delta y / \Delta x$ ); ее размерность определяется размерностью входной и выходной величин.

*Общая чувствительность преобразователя*, состоящего из последовательного ряда отдельных блоков и специализированных преобразователей, зависит от чувствительности каждого из названных элементов и определяется произведением частных чувствительностей



$$(S = S_1 * S_2 * \dots).$$

*Порог чувствительности* – минимальное изменение входной величины, вызывающей заметное изменение выходной величины.

*Предел преобразования* – максимальное значение входного сигнала, которое может быть воспринято преобразователем без искажений и повреждений преобразователя.

*Динамический диапазон измерений* – диапазон входных величин, измерение которых производится без заметных искажений и простирается от максимальной (предельной) величины до минимальной, ограниченной порогом чувствительности или уровнем помех. Количественно динамический диапазон выражается либо крайними значениями (от минимума до максимума), либо в децибелах.

*Градуировочная характеристика* – зависимость между значениями величин на входе и на выходе преобразователя составленная в виде таблицы или графика.

*Основная погрешность* – максимальная разность между получаемой и номинальной выходными величинами, определяемыми в нормальных условиях.

*Нормальные условия* – за нормальные условия принимают следующее состояние окружающей среды: температура  $+25 \pm 10$  ° С; атмосферное давление  $750 \pm 30$  мм рт. ст.; относительная влажность  $65 \pm 15\%$ ; вибрация, электрические и магнитные должны отсутствовать.

*Дополнительная погрешность* – погрешность вызываемая изменением внешних условий. Она представляет собой относительное изменение выходной величины в процентах, отнесенное к изменению внешнего фактора на определенную величину (например температурная погрешность 2,5 % на 10° С и т. д.).

Классификация преобразователей неэлектрической величины в электрический сигнал, по принципу преобразования, показана на рисунке 7.5. Выбор принципа преобразования датчика, в значительной степени определяет схемотехнику электронных преобразующих устройств, блоков питания, других, схемотехнических элементов.



Рисунок 7.5 Классификация преобразования неэлектрических величин в электрические в соответствии с принципом действия тренировочных устройств и спортивных тренажеров

По принципу действия преобразователи делятся на две группы: *активные*, или генераторные, и *пассивные*, или параметрические. В первых, входная величина непосредственно преобразуется в электрический сигнал; во вторых – выходными электрическими величинами является результат изменения сопротивлений, емкостей, частоты и т. п. К первому классу можно отнести пьезоэлектрические и индукционные, а ко второму – емкостные, индуктивные и другие преобразователи. В отличие от параметрических, питаемых от внешнего источника, активные преобразователи под воздействием измеряемой величины, сами генерируют электрический сигнал в виде электро-движущей силы (Э. Д. С.), частоты или фазы переменного тока. Когда непосредственное преобразование входной величины во выходную произвести невозможно, применяется промежуточное преобразование, как в электротензометрии, где измеряемая величина (например сила) преобразуется предварительно в деформацию упругого элемента, а последняя приводит к изменению электрического сопротивления.

Преобразователь, как единая система (рисунок 7.4), должен удовлетворять ряду требований: иметь достаточную чувствительность и удовлетворительную стабильность, допускать широкий диапазон изменения входной величины, удобное согласование с измерительной аппаратурой и не оказывать заметного влияния на входную величину.

Для измерения одной и той же неэлектрической величины могут быть использованы датчики, основанные на различных принципах преобразования, которые не всегда равнозначны по обеспечению заданной точности и стабильности процесса преобразования и т. д. Поэтому следует анализировать наиболее перспективные принципы преобразования, основой которых является совокупность элементов показанных на рисунке 7.5. Применение таких элементов даст возможность получить датчики и преобразователи, соответственно, более простыми, точными и надежными в работе.

Именно по своей сути обоснование принципа или способа преобразования определяет выбор конструкции датчика, как элемента от которого зависит конструкция преобразователя измеряемой неэлектрической величины в целом. Как было сформулировано в начале раздела, датчик это конструктивно законченный преобразователь предназначенный для выполнения определенной функции.

На примере такого принципа преобразования как электротензометрия (параметрический принцип преобразования), датчиком является деформируемое упругое тело с наклеенным на нем тензорезистором. Преобразователем в целом, - деформируемое упругое тело, тензорезистор которого подключен в соответствующее плечо измерительного электрического моста, где деформация упругого тела, от приложенного к нему усилия (величина на входе преобразователя), изменяет омическое сопротивление тензорезистора. Такое изменение вызывает в свою очередь разбаланс электрического моста и в контрольной диагонали этого моста возникает электрический ток пропорциональный изменению усилия на входе преобразователя (датчика).

При рассмотрении конструктивных решений датчиков для измерения того или иного неэлектрического параметра необходимо обратить внимание на поведение механической колебательной системы под воздействием внешней силы. Это необходимо сделать, т. к. в конструкциях подавляющего большинства датчиков, применяемых в тренажерах, имеются упругие и инерционные составляющие, активно реагирующие на перепады усилий и другие процессы.

Всякий сложный апериодический или периодический процесс, представляется суммой синусоидальных составляющих. Отсюда исходит, что идеальный преобразователь должен одинаково хорошо реагировать на все составляющее входного сигнала (от нулевой до высшей частоты) с минимальными искажениями. В большинстве случаев преобразование

(измерение) величин производится приборами, состоящими из набора инерционных и упругих элементов, создающих условия для возникновения колебательных процессов. Упрощая анализ реакции преобразователя на частотные составляющие входного сигнала можно воспользоваться аналогом в виде колебательной системы с одной степенью свободы (однонаправленная величина на входе преобразователя, или со смещением  $x$ , что характерно для большинства измерительных систем).

Это нужно, чтобы определить в каком случае преобразователь работает как виброметр, а в каком как частотомер, так как одно и другое широко используется в анализе особенностей спортивных движений.

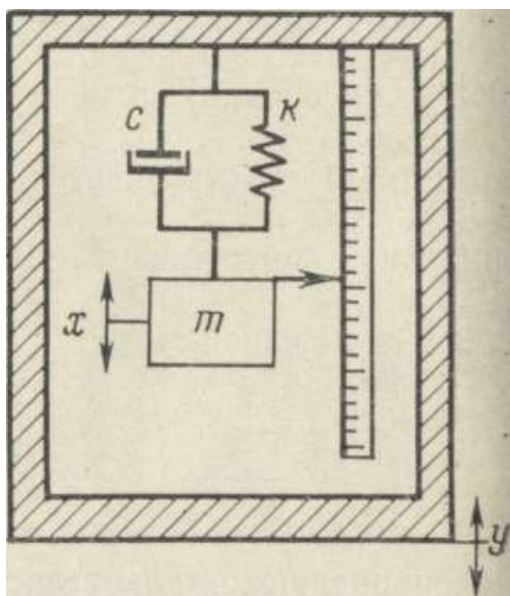


Рисунок 7.6 Колебательная система с одной степенью свободы

Реакция на внешнее воздействие, системы показанной на рисунке 7.6, описывается неоднородным линейным дифференциальным уравнением второго порядка.

Не останавливаясь на сути решения этого уравнения по отношению к смещению  $x$  можно записать:

$$x = y_0 \frac{\beta^2}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}} \sin(\omega t - \varphi) \quad (7.1)$$

где  $\beta = \omega/\omega_0$  – отношение возбуждающей частоты к собственной частоте;  $\xi = c/c_{кр} = c/2\sqrt{km}$  – относительный коэффициент демпфирования, когда  $m$  – масса инерционного тела;  $c$  – коэффициент демпфирования;  $k$  – коэффициент упругости;  $y$  – измеряемое перемещение;  $\varphi$  – угол сдвига фаз равный, если

$$\varphi = \arctg \frac{2\xi\beta}{1 - \beta^2}$$

Из решения уравнения следует, что если  $\beta$  имеет большое значение ( $\beta \gg 1$ ), а  $\xi$  – достаточно мало ( $\xi \ll 1$ ), то

$$X \approx y_0 \sin \omega t,$$

т. е. перемещение массы тела пропорциональны перемещению корпуса  $y_0$ .

Если  $\beta$  и  $\xi$  имеют малые значения, то

$$X \approx y_0 \frac{1}{\omega_0^2} \sin(\omega t - \varphi)$$

и следовательно, перемещение груза пропорционально ускорению корпуса  $y_0 \omega^2$  в масштабе  $1/\omega_0^2$ .

Из этого следует, что при возбуждении колебательной системы ниже ее резонансной частоты она будет работать в режиме *акселерометра*, а выше резонансной частоты – в режиме *виброметра*. На это следует обратить особое внимание, поскольку на этих режимах основана работа названных приборов.

Максимальное смещение  $x_{\max}$  из (7.1) равно:

$$X = y_0 \frac{\beta^2}{\sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}} = \lambda y_0.$$

Это означает, что максимальное смещение груза определяется затуханием системы и отношением частот, а коэффициент

$\lambda = \beta^2 / \sqrt{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}$  может быть назван коэффициентом усиления, изменение которого зависит от  $\xi$  и  $\beta$ , (рисунок 7.7).

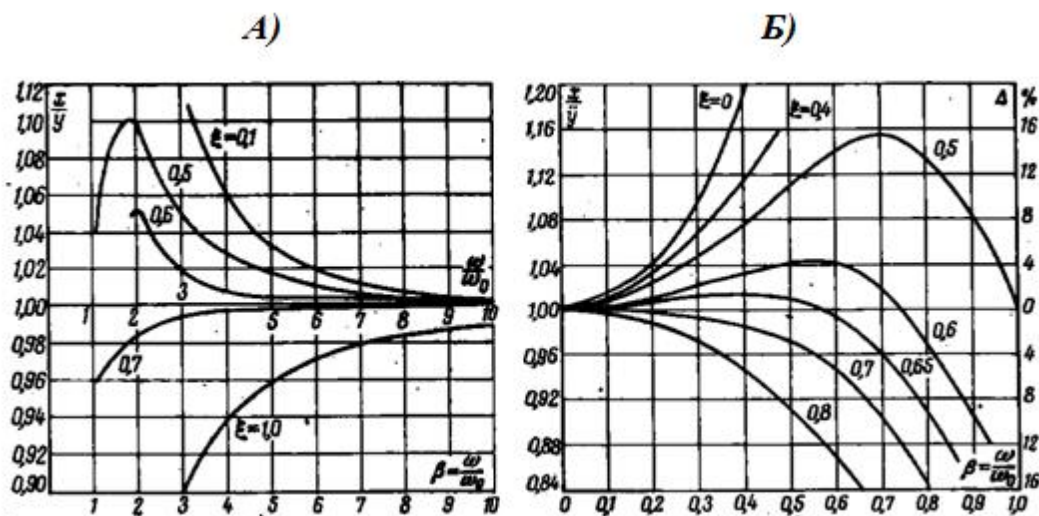


Рисунок 7.7 График зависимости смещения инерционного тела от затухания  $\xi$  и отношения частот  $\omega/\omega_0$ ,

А – виброметра; Б – акселерометра.

В отличие от радиотехнических устройств, где наибольший интерес представляет именно резонансная область, в устройствах для измерения неэлектрических величин стремятся уйти от резонанса, с тем чтобы амплитудно-частотная характеристика преобразователя имела вид приближающийся к горизонтальной прямой.

На рисунке 7.7 А, для *виброметра*, это имеет место при  $\xi = 0,6 \div 0,7$  и  $\beta > 3$ . Здесь, коэффициент  $\lambda \approx 1$  и амплитуда смещения груза примерно равно смещению корпуса.

Из графиков (рисунок 7.7 Б) характеризующих зависимость  $x/y$  от  $\xi$  и  $\beta$  для акселерометра, видно что характеристика *акселерометра* при  $\xi =$

$0,7$  почти линейна до частот, пока  $\omega < 0,4\omega_0$

#### 7.4 Датчики для измерения параметров движений при перемещениях на малые расстояния

Перемещения на малые расстояния характерны для спортивных движений звеньев или отдельных частей тела спортсмена и ограничены антропометрическими особенностями самого спортсмена. Именно при перемещении звеньев тела спортсмена или отдельных частей его тела, проявляются наивысшие ускорения и скорости движения. Связи между параметрами движения (перемещением, скоростью и ускорением), определяемые дифференциальными зависимостями, широко используются при проектировании и эксплуатации датчиков, поскольку один из измеренных параметров позволяет тут же путем его дифференцирования или интегрирования получить другой. Так сигнал от датчика ускорения, проинтегрированный дважды по времени, предстает как сигнал перемещения.

Выбор конкретного средства для измерения параметров движения зависит от характера движения: будет ли оно равномерным, неравномерным или колебательным (вибрационным).

На практике, при выборе типа преобразователя (рисунок 7.8), прежде всего учитываются особенности измеряемого двигательного действия спортсмена или его состояния, чувствительность и частотный диапазон работы преобразователя.

Особенностью реостатного датчика (рисунок 7.8 А) является то, что инерционная сила  $F_{ин}$ , возникающая в результате ускорения основания, проявляет себя в виде смещения движка потенциометра, во второй схеме (рисунок 7.8 Б) – в виде деформации балки тензорезисторов  $R_1$  и  $R_2$ , в третьей схеме (рисунок 7.8 В) – в виде скорости перемещения магнита в катушке, поскольку наводимая Э. Д. С. пропорциональна скорости его перемещения.

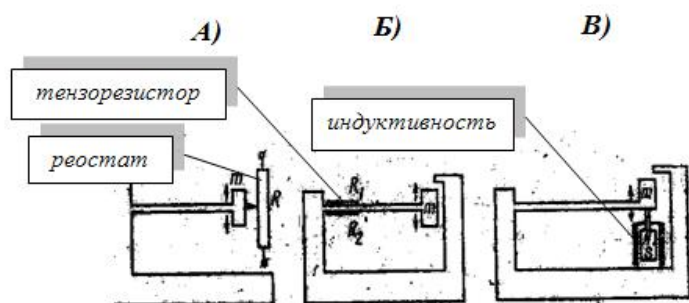


Рисунок 7.8 Инерционные измерители параметров движения  
А – реостатный; Б – тензоэлектрический; В – индукционный.

Так например, применение в акселераторе преобразователя реостатного типа, требующего относительно больших перемещений, неизбежно приводит к снижению частоты собственных колебаний системы, ограничивая частотный диапазон  $10 \div 30$  Гц.

В отличие от датчиков ускорения, работающих на частотах, ниже резонансной, рабочие частоты датчиков вибросмещений (сейсмических

датчиков) обычно находятся выше резонансной. Поэтому, чтобы регистрировать низкочастотные процессы, нужно, чтобы датчик имел низкую частоту собственных колебаний. Как правило, в сейсмических датчиках используются индукционные преобразователи, выходной сигнал которых пропорционален скорости, вследствие чего индукционные сейсмодатчики являются дифференцирующим элементом (поскольку сама колебательная система работает в режиме виброметра). Поэтому для получения сигнала, пропорционального вибросмещению, на выходе датчика необходимо включить соответствующую интегрирующую цепь.

Для практического применения, параметры распространенных датчиков инерционного типа (реостатных или потенциометрических, тензометрических, индукционных) приводятся в специальных справочных таблицах.

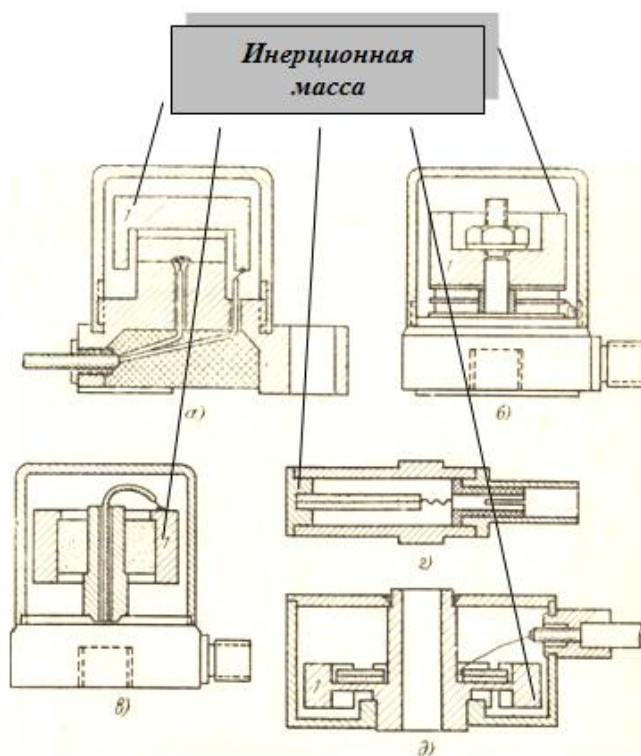


Рисунок 7.9 Конструктивные особенности пьезоэлектрических датчиков ускорений. а – клееный; б – с поджатием; в – сдвиговый; г, д – изгибные.

Наиболее пригодными для измерения больших ускорений, в том числе и ударных, являются пьезоэлектрические датчики, в различных вариантах исполнения и назначения (рисунок 7.9).

Датчики (рисунок 7.9, а, б) работают на сжатие – растяжение и отличаются один от другого тем, что в первом инерционный элемент прочно приклеен токопроводящим клеем к пьезоэлементу, а во втором поджат с предварительным напряжением. У него большая собственная частота и недостаток, выражающийся в наличии двухсторонней связи с корпусом, что делает пьезоэлемент зависимый от условий не связанных с входным ускорением.

В датчике (рисунок 7.9, в) пьезоэлемент работает на сдвиг. Здесь достоинством является существенное уменьшение, по сравнению с первыми, боковой или поперечной чувствительности.

В датчике (рисунок 7.9, г) пьезоэлемент испытывает изгибную деформацию обеспечивающую повышенную чувствительность к ускорению. Однако, при этом, изгибная деформация пьезоэлемента значительно снижает механическую прочность самого датчика. Для увеличения прочности датчика, пьезоэлемент в виде пьезокерамической шайбы наклеивают на

жесткие металлические основания (рисунок 7.9, д).

В этом случае величина прогиба определяется толщиной основания и инерционной массой, которые выбираются из условий достижения заданной собственной частоты. Это касается малых перемещений.

### 7.5 Датчики для измерения параметров движений при перемещениях на значительные расстояния

При больших линейных перемещениях, выходящих за пределы измерения преобразователя, измерение производится путем суммирования дискретных перемещений от одной метки, связанной с неподвижной системой, до второй; от второй до третьей и т. д. При этом мерная величина может находиться как на неподвижном участке так и перемещаться. Например, путь автомашины может быть определен последующим суммированием числа оборотов колеса умноженного на длину его окружности. Число оборотов подсчитывается счетчиком (электроконтактным, индукционным, емкостным или фотооптическим с помощью стробоскопа). Определение числа оборотов в единицу времени с помощью тахометра позволяет рассчитать среднюю скорость на этом отрезке пути.

В тех случаях, когда возможность использования опорных (реперных) точек отсутствует, используются датчики с инерционными элементами. Такие датчики находят применение, в частности там, где при перемещении объекта, имеют место инерционные силы.

В соответствии с законом Ньютона эти силы пропорциональны движущейся массе  $m$  и испытываемому ей ускорению  $x$  т. е.

$$F_{ин} = m * x.$$

Следовательно, если возможно каким либо образом измерить силу  $F_{ин}$ , то при известной массе  $m$  может быть определено ускорение  $x$ , а затем скорость  $v(x = \int x dt)$  и смещение  $x(x = \iint x dt dt)$ . Таким образом, задача определения параметров движения сводится к измерению силы. Однако практически измеряется не сила, а электрический параметр являющийся функцией этой силы (изменение емкости, индуктивности, сопротивлений, э. д. с. и т. п. )

В общем случае перечисленные датчики можно построить с использованием всех упомянутых ранее типов преобразователей.

По отношению к линейному перемещению, схематическая конструкция специализированных датчиков приведена на рисунке 7.10.

Из конструкций приведенных на рисунке 7.10, следует обратить внимание на работу электромагнитного преобразователя вращательного перемещения (тахогенератора), используемого в качестве датчика угловых скоростей, а при математическом преобразовании его сигнала – и к



вычислению пройденного пути.

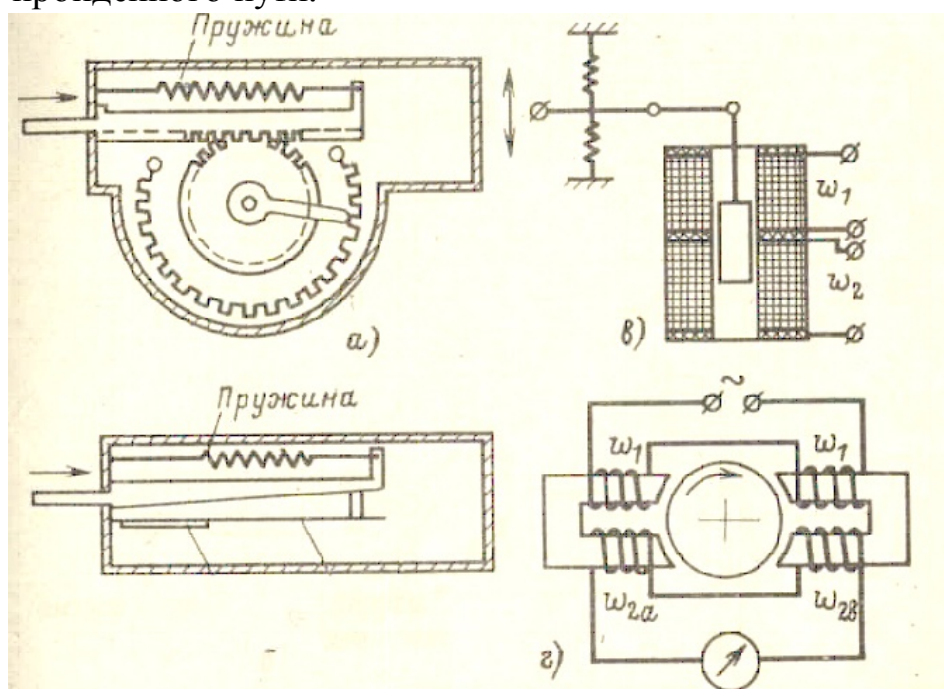


Рисунок 7.10. Конструкция датчиков линейного перемещения  
а – потенциметрического (реостатного); б – тензорезистивного;  
в – трансформаторного; г – электромагнитного

Устройство и работа других датчиков не требует особых пояснений. Следует обратить только внимание на использование, в них или совместно с ними, различных передач (системы тяг и блоков, редукторы различных видов), посредством которых осуществляется трансформация величин и характер перемещений. При соответствующем выборе передач перемещение может быть как уменьшено, так и увеличено. При этом следует обратить внимание на люфты в элементах передач, которые должны быть сведены к минимуму, поскольку они являются источниками погрешности измерения.

### 7.6 Датчики для измерения сосредоточенных сил

Преобразование в электрический сигнал сосредоточенных сил, как сил действующих в одном направлении и деформирующих тело, к которому они приложены, имеет наиболее широкое использование в спортивном приборостроении.

Такое преобразование сосредоточенных сил производится, либо непосредственным путем прямого воздействия на преобразователь, либо – с преобразованием входной механической величины в промежуточную, и как правило, через перемещение или деформацию упругого элемента. В первом случае используются магнитоупругие и пьезоэлектрические преобразователи (рисунок 7.11) Пределы измерения, с помощью названных датчиков, определяются площадью магнитоупругого или пьезоэлектрического элемента.

Вследствие большой жесткости подобные преобразователи имеют высокую собственную частоту (до 50 кГц и выше) и могут быть использованы для измерения динамической сил. Однако, в то время как с помощью магнитоупругих преобразователей могут быть измерены и статические силы, пьезоэлектрические преобразователи практически используются только для переменных сил с минимальной частотой первой гармоники 5÷Гц.

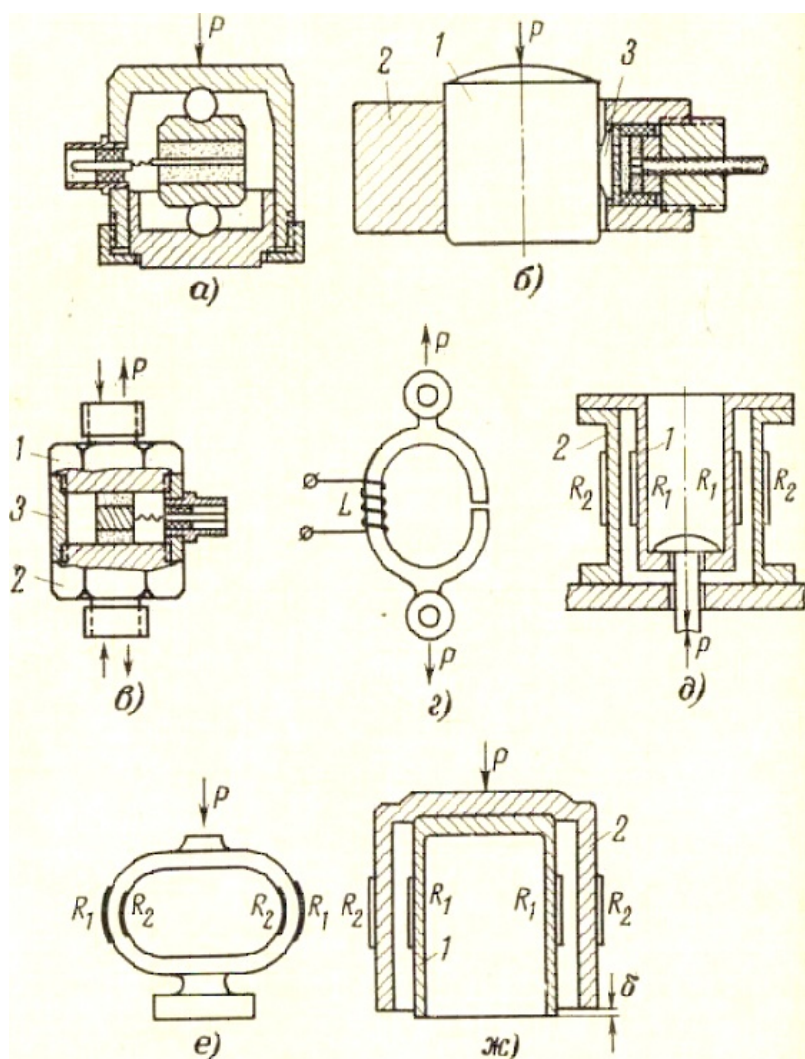


Рисунок 7.11 Конструкция датчиков для измерения сосредоточенных сил.

а – в – пьезоэлектрических; г – электромагнитного;  
д – ж – тензорезистивных .

диаметр силового столбика  $l$  под нагрузкой. Изменение диаметра столбика передается через сферическую пятую  $3$  пьезопластинам, смонтированным в стальном закаленном кольце  $2$ , опоясывающем силовой столбик.

Датчик на рисунке 7.11,в используется для фиксации как сжимающих, так и растягивающих сил. Для этого в преобразователе создается предварительное напряжение сжатия  $\sigma_{предв}$ , равного половине максимально допустимого напряжения в пьезокристалле. Это напряжение в кристалле

Что касается пьезоэлектрических датчиков, то из-за чрезвычайно большого их разнообразия, здесь приводятся лишь три типа конструкций имеющих характерные отличия, рисунок 7.11.

Особенности датчика (рисунок 7.11 а) работающего только на сжатие является передача усилий через стальные закаленные шарики, с помощью которых достигается равномерное распределение усилий на тензопластину.

Датчик, показанный на рисунке 7.11 б, направлен на измерение очень больших усилий, непосредственное приложение которых к тензопластинам, вызвало бы их разрушение. При измерении силы в этом датчике увеличивается

обеспечивается поджатием верхней и нижней гайками 1 и 2. Максимальное измеряемое усилие таким датчиком на должно превышать величины, при которой напряжение в преобразователях уменьшается до нуля или увеличивается до предельно допустимого. Абсолютное значение этого усилия зависит от соотношения жесткости пьезоэлемента и корпуса датчика 3.

Измерение сил с помощью промежуточного преобразования в смещение или деформацию, имеет наибольшее распространение во всех сферах, где требуется измерять действующие силы. Такое измерение может производиться с установкой преобразователя, как на самом элементе, подвергающемся воздействию силы, так и с помощью специальных датчиков, с упругим элементом в виде балки, стержня, цилиндра, кольца, деформирующимся пропорционально приложенной силе и приходящими в исходное положение после снятия нагрузки.

С упругим элементом связаны те или иные преобразующие элементы, на выходе которых продуктируется электрический сигнал. В этом случае могут быть использованы индуктивные, емкостные, тензорезистивные, электронные преобразователи. Отдельные из возможных решений изображены на рисунке 7.11, *г – ж*.

### 7.7 Датчики для измерения давлений

Учитывая, что исполнительные элементы многих тренажерных устройств функционируют на основе пневмо- или гидро- систем, существует необходимость измерять давление в их трубопроводах или цилиндрах.

Принципиально для измерения давлений применимы все рассмотренные выше типы преобразователей. Конструируемые решения при этом могут быть самыми разнообразными, определяемые требованиями эксплуатации. Характерной особенностью большинства датчиков давления является промежуточное преобразование давления в перемещение упругих элементов в виде плоских и гофрированных круглых мембран с отношением толщины к диаметру в пределах 1/10-1/50. В зависимости от величины измеряемого давления, принципа преобразования и условий работы, для мембран применяют, по аналогии с тензоэлементами, различные материалы. Величина давления  $P$  однозначно (пока частота пульсаций давления значительно меньше собственной частоты датчика) определяется величиной прогиба мембраны.

Собственная частота заделанной по контуру толстой мембраны:

$$f = \frac{10,2}{2\pi R^2} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

где  $m$  – масса единицы площади мембраны,  $\text{T} * \text{m}^{-2}$

Для повышения частоты тонких мембран, рассчитанных на малые давления, их иногда натягивают на контур.

Частота собственных колебаний для этого случая определяется соотношением

$$f = 2\sqrt{\frac{P}{m}}$$

где  $P$  – натяжение мембраны по контуру.

Для неискаженного измерения исследуемого переменного процесса, собственную частоту датчика следует выбирать как можно большей, однако это связано с увеличением чувствительности датчика. В связи с чем, лучше брать мембрану меньшего диаметра и меньшей толщины, по сравнению с более толстой мембраной большего диаметра. Это положение накладывает определенные требования к выбору размеров мембраны, с учетом оптимальных соотношений распределения механических напряжений вдоль ее радиуса. График изменения механических напряжений вдоль радиуса мембраны показан на рисунке 7.12.

При применении серийных тензорезисторов мембранного типа, диаметр мембраны должен быть лишь ненамного больше диаметра тензорезистора. Когда заданный диаметр мембраны не согласуется с диаметром тензорезистора, то следует отказаться от мембранных тензорезисторов, заменив их тензорезисторами с прямоугольной решеткой и различными базами. В центре тензорезистор с базой, достигающей до  $1/3$  диаметра мембраны, а по краям – не превышающий  $1/6$  диаметра.

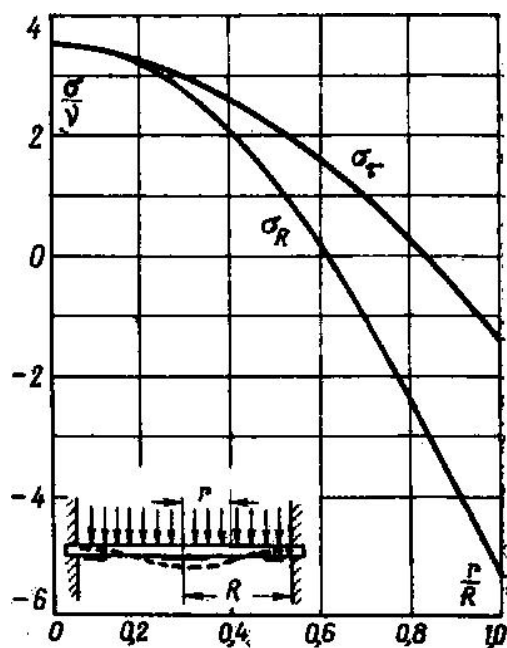


Рисунок 7.12. График изменения механических напряжений вдоль радиуса мембраны

$\sigma_R$  – радиальное механическое напряжение вдоль радиуса мембраны.

$\Sigma\tau$  – тангенциальное (окружное) напряжение на поверхности мембраны.

При измерении давлений в жидкой среде в условиях вибраций и дополнительных инерционных сил (например, на движущемся объекте) к статическому давлению  $p_{ст}$  добавляются инерционные силы. В результате суммарное давление (пренебрегая массой мембраны) будет:

$$p = p_{ст} + j\rho h,$$

где  $\rho$  – массовая плотность жидкости;

$h$  – высота слоя жидкости;

$j$  – ускорение.

При регистрации неискаженной переменной составляющей, за счет инерционной силы, собственная частота колебаний мембраны, как и ранее, должна быть в  $5 \div 10$  раз выше основной

частоты вибраций объекта и пульсаций давления.

На рисунке 7.13 показано схематическое устройство датчиков для измерения давлений, работа которых не требует особых пояснений. Здесь внимание следует обратить на тензометрические датчики (рис. 7.13, д, е).

Для получения максимальной чувствительности, тензорезисторы включаемые по схеме полумоста или моста, должны быть наклеены на мембрану, в центральной ее части и в тех зонах, где напряжения максимальны и имеют противоположный характер. Здесь следует обратить внимание на особенность конструкции датчика давления изображенного на рисунке 7.13, д, у которого активный тензорезистор 1 наклеен не вдоль оси цилиндра, а поперек. Компенсационный резистор 2 наклеен на продолжении цилиндра, в котором помещен силикагель. Такая ориентация тензорезистора рекомендуется потому, что относительная тангенциальная деформация примерно в два раза превышает продольную ( $\varepsilon_{\tau} \approx 2\varepsilon_{\parallel}$ ) и равна:

$$\varepsilon_{\tau} \approx \frac{1}{2} \frac{D_{\text{ср}}}{\delta E} \rho,$$

где  $D_{\text{ср}}$  – средний диаметр цилиндра;  $\delta$  – толщина стенки цилиндра. Диапазон измерений давлений цилиндрическим преобразователем простирается от  $5 \cdot 10^4$  до  $4 \cdot 10^7$  Па  $5 \cdot 10^4$  до  $4 \cdot 10^7$  Па ( $5 - 4000$  кгс/см<sup>2</sup>), при этом рабочая нагрузка во избежание текучести материала не должна превышать  $0,7 \varepsilon_{\tau}$ .

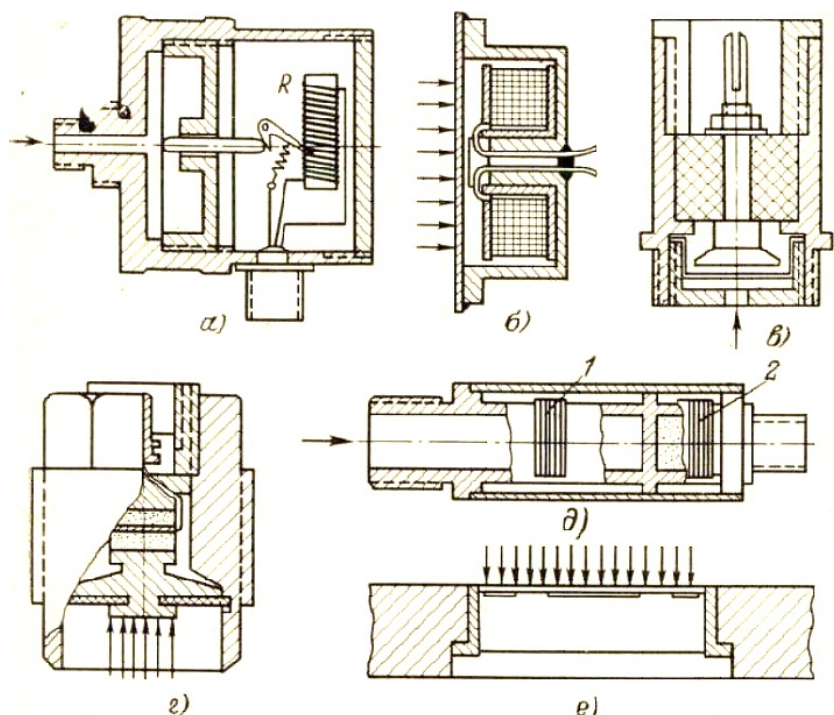


Рисунок 7.13 Датчики для измерения давлений  
а – реостатный (потенциометрический), б – электромагнитный,  
г – пьезоэлектрический, д, е – тензометрический.

На рисунке 7.13 показано схематическое устройство датчиков для измерения давлений, работы которых не требует особых пояснений. Внимание следует обратить на тензометрические датчики (рисунок 7.13, д,е).

Для получения максимальной чувствительности, тензорезисторы включаемые по схеме полумоста или моста, должны быть наклеены на мембрану, в центральной ее части и в тех зонах, где напряжения максимальны и имеют противоположный характер.

Обособленную группу представляют датчики для измерения ударных волн, возникающих при воздействии ударных силовых проявлений (нижняя часть рисунок 7.13, а и б)

Сложность измерения подобных процессов заключается в том, что в результате резкого измерения давления, в обычных датчиках возникают собственные колебания, существенно искажающие измеряемое воздействие. Для надежной регистрации таких процессов необходимо, чтобы собственная частота преобразователя была чрезвычайно высокой (порядка 100000 Гц и выше), а это может быть реализовано лишь с применением пьезоэлектрических датчиков. Поскольку собственная частота системы определяется жесткостью кристалла кварца и его массой, то при большой жесткости кварца (или пьезокерамики) и малой колеблющейся массе, удается изготовить датчик, регистрирующий давления с очень крутым фронтом нарастания.

В нижней части рисунка 7.13 а показан датчик, предназначенный для измерения давления в ударной волне. Датчик представляет собой заостренный «нож» 2, в корпусе которого установлены два пьезоэлемента 1, поджатыми легкими мембранами 3. Благодаря большой жесткости пьезоэлемента и малой массе самого пьезоэлемента и мембраны, собственная частота датчика может достигать 200000 Гц.

Несколько другой принцип заложен в датчик, изображенный на рисунке 7.13 б. Этим датчиком удается регистрировать процессы, длительность которых такого же порядка, что и период собственных колебаний пьезоэлемента. Здесь пьезоэлемент находится между двумя участками металлического стержня 3. Сам стержень заключен в металлическую трубку - экран 2, изолированную от стержня парафином и являющуюся одновременно вторым электродом.

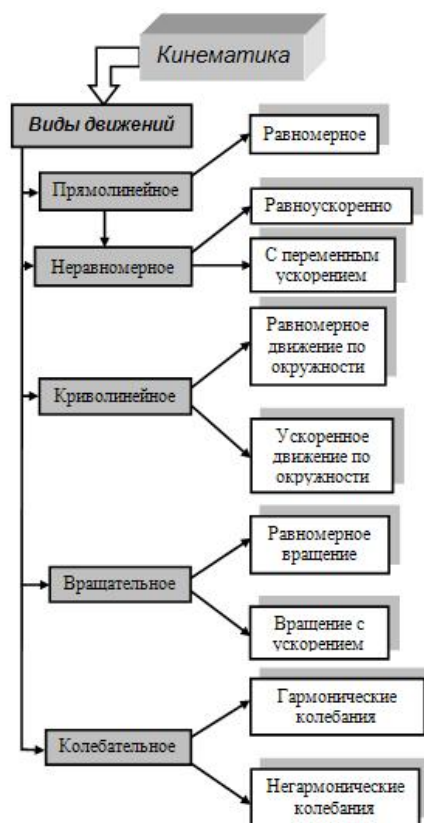
Сущность работы датчика заключается в том, что материал стержня выбирается таким, чтобы волна сжатия при своем движении не имела отражений на границе раздела (стержень – пьезоэлемент и пьезоэлемента – стержень) и каждом из участков системы не возникали собственные колебания.

## 7.8 Преобразователи видов движений

Реализовать свои двигательные способности спортсмен может только во взаимодействии с внешней окружающей средой (действие равно

противодействию). Форма таких взаимодействий определяется спецификой двигательной деятельности спортсмена обусловленной соответствующим видом спорта, со свойственным набором частных движений. Параметры этих движений всецело зависят от видов механических движений, возникающих в результате нужной межмышечной координации. Частные виды таких движений, которые определяют конкретные двигательные действия спортсмена, подробно описаны в разделе 4.1.

Что касается кинематики, то движения, воспроизводимые различными механизмами, достаточно ограничены по направлению движения в пространстве, за исключением синтеза механизмов в робототехнике.



Законы движения:

$$\vec{v} = \text{const}, x = x_0 + vt;$$

$$\vec{a} = \text{const}, v = v_0 + at;$$

$$x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}.$$

Численные методы расчета:

$$a_{\text{пол}} = \frac{v^2}{R} + 4\pi^2 v^2 R + \frac{4\pi^2 R}{T^2};$$

$$a = \sqrt{a_{\text{пол}}^2 + a^2};$$

$$\begin{cases} a = \varphi' \\ v = aR \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varepsilon = \omega' = \varphi'' \\ a = \varepsilon R \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = -\omega^2 x \\ x = x_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

На рисунке 7.14 отражены, сведенные воедино виды движений, характерные механическим системам исполнительных элементов тренажеров, описание законов движения, численные методы их расчета, основные понятия кинематики.

Здесь следует отметить, что из-за конструктивных особенностей механизмов, образующих исполнительные элементы тренажеров, движения на их входе или выходе носят довольно ограниченный характер. К примеру, это может быть либо вращательное движение, как у электрической машины (электродвигатель, тахогенератор и пр.), либо линейное возвратное движение, - как у гидравлических или,

пневматических систем. Гидро, и пневмо системы могут также создавать на своем выходном валу и вращательные движения, однако без преобразователей видов движения, невозможно согласовать движения спортсмена и действия на выходе такого исполнительного элемента.

Отсюда задача преобразователя вида движения – передать, в качестве «своеобразного посредника», двигательное действие с элемента взаимодействия на исполнительный элемент, через такой преобразователь, и получить обратно нужную реакцию на действие спортсмена.

В качестве подобных преобразователей видов движения можно

использовать различного рода системы блоков, рычаги, рычажно-блочные системы, рычажные системы, редукторы, кулачковые системы и эксцентрики, различного типа зацепления для создания прерывистых движений, барабаны с намотанным на них тросом для преобразования линейного перемещения во вращательное движение, и многое др.

### **7.9 Структурные схемы спортивных тренажеров и тренировочных устройств**

Разработке конструкции тренажеров и тренировочных устройств предшествует обоснование выбора и построение функциональной схемы такого оборудования, где перечисленные ранее элементы, а также некоторые другие элементы будучи связанными в единой структуре, образуют целостную конструкцию проектируемого оборудования. Все многообразие оборудования для спортивной тренировки можно распределить в соответствии со спецификой деятельности в различных видах спорта. Такое распределение концентрируется вокруг совокупности следующих видов спорта:

- силовые и скоростно силовые виды спорта;
- циклические виды спорта;
- виды спорта, основанные на двигательных взаимодействиях (диноборства, игровые виды спорта)
- сложно-координационные виды спорта;
- технические и прикладные виды спорта.

#### ***Структурная схема тренировочного оборудования для силовых и скоростно-силовых видов спорта***

По своей функциональной компоновке, тренировочное оборудование для силовых и скоростно-силовых видов спорта аналогично замкнутым системам автоматического регулирования. Это означает, что подобное оборудование должно объединить в себе отдельные функциональные элементы по взаимосвязям показанным на рисунке 7.15.

Здесь преобразование электрического сигнала превращает последние в противодействующий вращательный момент и в первую очередь зависит от принципа работы преобразователя механических величин в электрический сигнал (датчика). Само преобразование этого сигнала, до уровня необходимого для управления преобразователя мощности, может быть цифровым, импульсным, амплитудным, частотным или фазовым. Датчик, реагирующий на силовые проявления во времени или пространстве, может быть связан как с элементом взаимодействия спортсмена с тренажерным устройством, так и с преобразователем видов движения

В элементарных силовых тренажерах ограниченного использования (с невысокими потребительскими свойствами), где в качестве преобразующих систем применяются, или отсутствуют вообще, механические передачи или



разнообразные тяги, функцию исполнительных элементов выполняют отягощения различной массы и формы. В этом случае, мышечную систему спортсмена нагружают силы гравитации, зависящие от массы отягощений и ускорений, придаваемых им, спортсменом, через соответствующие преобразователи видов движения.

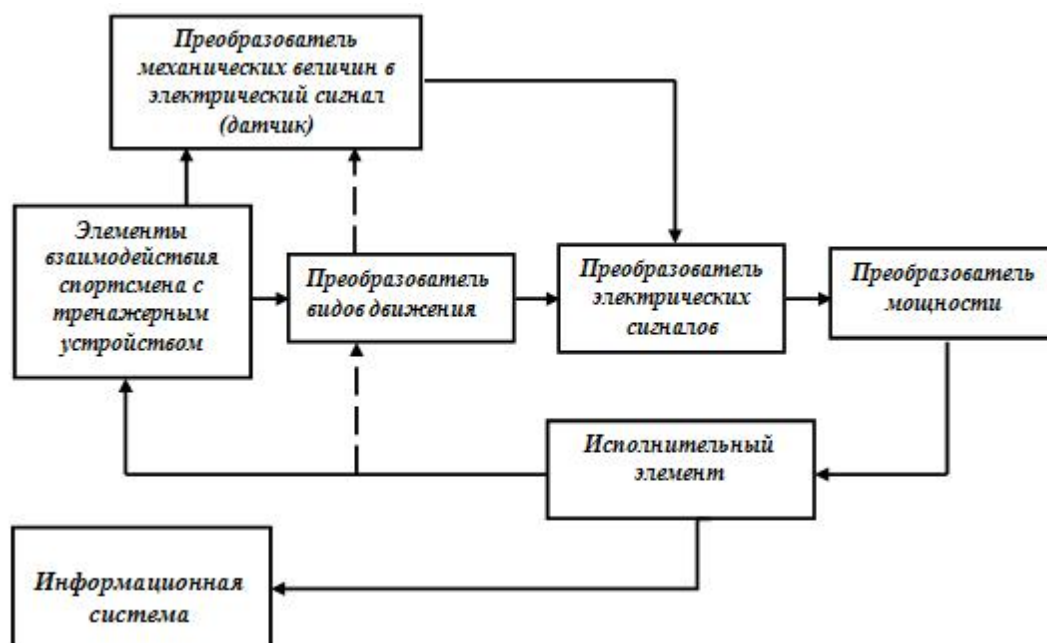


Рисунок 7.15 Обобщенная структурная схема тренировочного оборудования для силовых и скоростно-силовых видов спорта

Так, например, при силовой тренировке мышц рук в движении «жим штанги лежа на спине» исполнительным элементом создающим тренировочное воздействие, является набор отягощений, устанавливаемый на гриф штанги. Сам, гриф штанги движение, которого ограничивается специальными направляющими, является элементом взаимодействия спортсмена с тренажером. Датчик движения или проявляемого усилия может быть смонтирован непосредственно на грифе штанги или на опоре, которая является основанием лежака для спортсмена. Далее сигнал с выхода датчика преобразуется в информационный сигнал. Если а процессе подобной тренировки используется более сложное тренажерное устройство, основанное на системе автоматического регулирования, то сигнал с датчика, помимо информационного сигнала, после соответствующего преобразования используется как управляющий параметрами тренажерного устройства.

Реакция исполнительного элемента на двигательные действия спортсмена отражается различными индикаторами на табло показывающими проделанную механическую работу, развиваемую мощность, время работы, интенсивность двигательных действий (двигательных циклов за нужный промежуток времени), количество двигательных циклов, отслеживает траекторию двигательного цикла, а также режимы работы тренажерной системы.

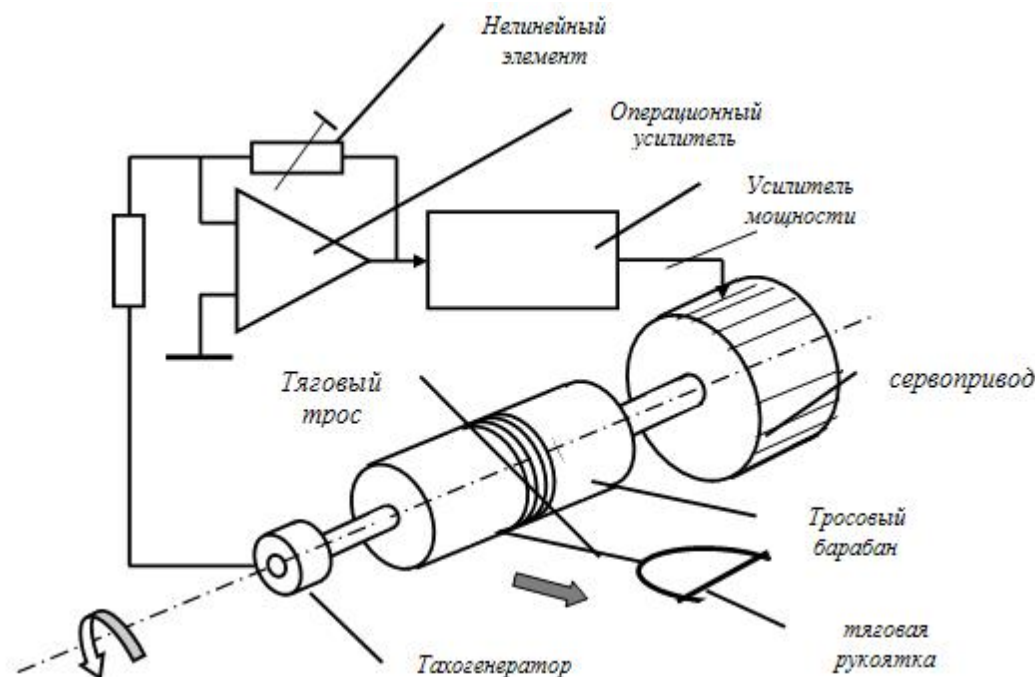


Рисунок 7.16 Структурно-кинематическая схема тренажерной системы для скоростно-силовой тренировки мышц

По необходимости такую информацию можно получать, как в процессе одиночных двигательных действий, необходимого количества двигательных действий, в накопленном состоянии за соответствующий период тренировочного процесса.

На примере тренажерной системы, структурно-кинематическая схема которой показана на рисунке 7.16, рабочая нагрузка на мышечную систему спортсмена создается сервомотором (исполнительный элемент) противодействующим ручному элементу взаимодействия с тренажером, состоящим из тяговой рукоятки и тягового троса. Конструктивно элементы взаимодействия могут быть в виде различных ручных, ножных педалей, для вращательных движений, или тяговых рукояток на конце троса, намотанного на специальный тросовый барабан, для линейных движений (преобразователь вида движения). В рассматриваемом тренажере тросовый барабан жестко закреплен на валу сервопривода, в качестве которого используется электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Создаваемый на валу электродвигателя нагрузочный момент действует противоположно линейному движению элементов взаимодействия. Линейный тахогенератор (датчик), механически связанный с валами электродвигателя и преобразователя вида движения (тросовый барабан), вырабатывает электрический сигнал пропорциональный угловой скорости движения элементов взаимодействия, намотанных на поверхности тросового барабана смонтированного на валу электродвигателя, и далее передает в контур обратной связи. Контур обратной связи формирует система настраиваемых операционных усилителей, включаемых в цепь обратной связи с помощью коммутационного устройства. Управляющий

электрический сигнал цепи обратной связи, предварительно усиленный, подается на усилитель мощности (преобразователь мощности), который питает цепь якоря электродвигателя. Ваттметр, подключенный к двигателю, отражает мощность развиваемую спортсменом при взаимодействии с тренажером.

Особенностью данной тренажерной системы является то, что видоизменяя конструкцию только одних элементов взаимодействия спортсмена с тренажером можно приспособить его к тренировке ведущих групп мышц в различных видах спорта. Причем, все остальные структурные элементы остаются неизменными.

### **Структурная схема тренировочного оборудования для циклических видов спорта**

Главная задача тренажеров такого типа – нагрузить мышцы спортсмена при циклическом характере движений и дать информацию о реакции организма спортсмена на соответствующую циклическую нагрузку, и по этой реакции выбрать и поддерживать в течение нужного цикла требуемую по величине тренировочную нагрузку.

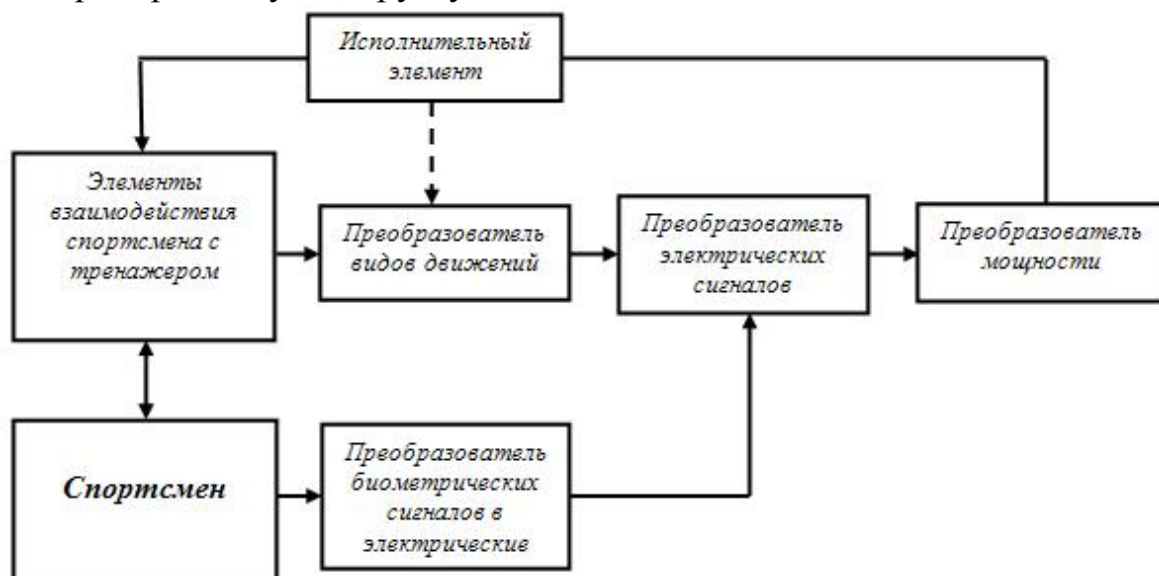


Рисунок 7.17. Структурная схема тренировочного оборудования для циклических видов спорта

В принципе, структурная схема тренировочного оборудования для циклических видов спорта, показанная на рис 7.17, мало чем отличается от структурной схемы тренировочного оборудования для силовых и скоростно-силовых видов спорта. В первом и во втором случае – одинаков принцип выбора и управления тренировочной нагрузкой. Зачастую в этих системах используются аналогичные по принципу действия исполнительные элементы.

Принципиальное отличие одной системы от другой является то, что в качестве информационного и управляющего сигнала используется биометрическая информация о состоянии функциональных систем

спортсмена, получаемая с датчиков расположенных на теле спортсмена.

### **Структурная схема тренировочного оборудования для видов спорта, основанных на двигательных взаимодействиях спортсменов**

Двигательные взаимодействия спортсменов – это вид двигательной деятельности спортсмена, когда от него требуется решать задачи афферентного контроля и эфферентного регулирования двигательных взаимодействий. Это относится, прежде всего к различным видам единоборств и игровым видам спорта, где спортсмены состязаются между собой индивидуально, либо командно.

Такие же задачи решают и спортсмены, взаимодействующие друг с другом в качестве партнера, или группы партнеров одной команды.

Основой для создания тренажерного оборудования для спортивной тренировки спортсменов состязующихся в видах спорта, основанных на двигательных взаимодействиях, является обобщенная структурная схема изображенная на рисунке 7.18.

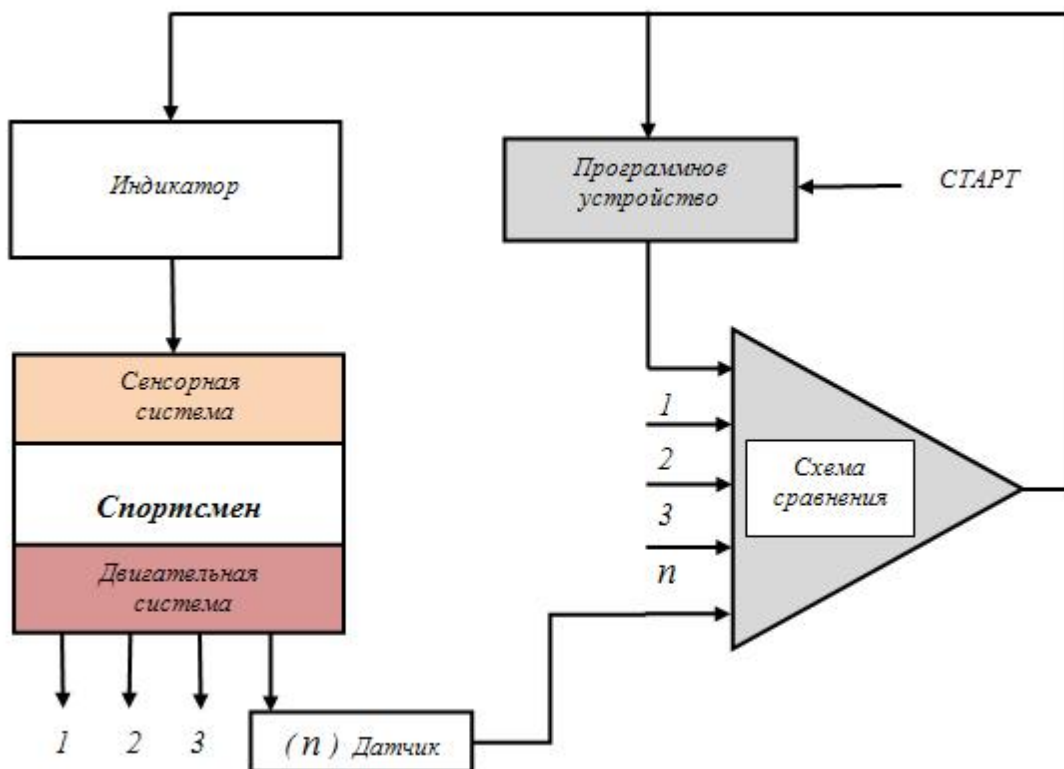


Рисунок 7.18 Структурная схема тренировочного оборудования для видов спорта, основанных на двигательных взаимодействиях спортсменов

Для этой категории тренажеров, элементами взаимодействия тренажера со спортсменом являются специализированные механические информационные устройства, которые по команде поступающей из программного устройства моделируют ситуацию взаимодействия в требуемый промежуток времени. Такие устройства имитируют действия противника или партнера в соответствующем движении или серии движений.

Функцию преобразователя вида движения выполняют датчики, расположенные на теле спортсмена. Исполнительным элементом рассматриваемого тренажера является информационная система (индикатор), отражающая режимы работы тренажера, двигательные задачи спортсмену, качество ответных действий спортсмена при решении заданных двигательных задач. Другим исполнительным элементом не показанным на рисунке 7.18, является сервопривод приводящий в движение элемент формирующий двигательную задачу спортсмену. Количество таких элементов зависит от специфики видов спорта и вида взаимодействий спортсмена.

Функциональная взаимосвязь структурных элементов схемы изображенной на рисунке 7.18 показывает следующее. Программное устройство моделирует и через информационную систему предлагает спортсмену ситуацию соответствующих двигательных взаимодействий. Для этого используются специализированные информационные устройства, которые по команде поступающей из программного устройства моделируют ситуацию взаимодействия в требуемый промежуток времени. Реакция спортсмена на эту ситуацию фиксируется датчиками, закрепляемыми на его теле или снаряжении. Видимая сторона ответного движения может фиксироваться различными датчиками движения или специальными механографами. Скрытое подготовительное, для соответствующей ответной реакции, действие фиксируется на основе электромиографии по времени проявления электрической активности мышц участвующих в подготовке такого действия. Схема сравнения, как один из важнейших элементов системы, сопоставляет запрограммированное действие с действием спортсмена и сигнализирует об их совпадении на табло информационной системы. Управляющее устройство запускает соответствующую программу смены ситуаций и управляет частотой и периодом смены запрограммированных ситуаций.

### ***Структурная схема тренировочного оборудования для сложно-координационных видов спорта***

Современная спортивная тренировка в сложнокоординационных видах спорта акцентирует особое внимание на проведение тренировочных занятий в соревновательно-модельном и контрольно-модельном режимах, когда осуществляется многократное выполнение отдельных элементов, упражнений, комбинаций в усложненных условиях, моделирующих, в основных чертах соревновательную деятельность. Это означает, что основными структурными элементами тренировочного оборудования для сложно-координационных видов спорта, показанного на рисунке 7.19, должны быть программно-моделирующее устройство и электронная схема сравнения.

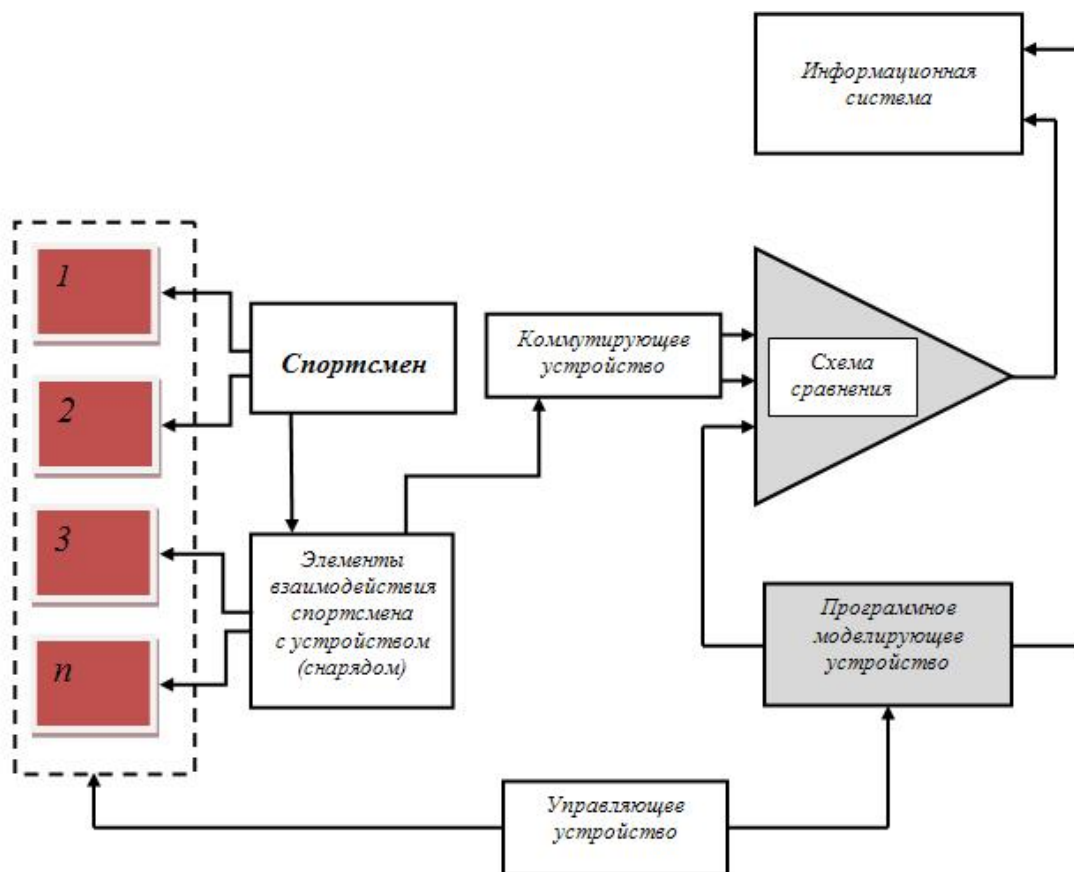


Рисунок 7.19 Структурная схема тренировочного оборудования для сложно-координационных видов спорта

Здесь программно-моделирующее устройство задает программу действий спортсмена, моделируя его взаимодействия с внешней управляющей средой и информирует тренера или спортсмена, через информационную систему, о качестве этих взаимодействий. Сигнал соответствия с выхода схемы сравнения и выхода программно-моделирующего блока отражается информационной системой (исполнительный элемент) в удобной для восприятия спортсменом форме с учетом затрудненной реакции, проявляющейся на фоне наступающих утомлений. В информационную систему могут входить различные специализированные предметы, зоны, спортивные снаряды и пр., оснащенные сенсорными датчиками касания, присутствия, попадания в зону, датчиками распределения усилий или ускорения, а также датчиками реагирующими на функциональное состояние организма спортсмена. Датчики 1, 2 могут располагаться на самом спортсмене, 3, ... n – на снарядах или приспособлениях (элементах взаимодействия с устройством), на которые воздействует спортсмен. Коммутирующее устройство подключает нужные датчики движения к входу схемы сравнения, а управляющее устройство запускает оборудование, управляя периодом выполнения спортсменом заданных взаимодействий.

## Вопросы для самопроверки

1. В чем проявляются особенности системы «спортсмен-тренажер».
2. Что из себя представляет взаимодействие спортсмена с тренажером.
3. Какие механизмы и устройства образуют элементы взаимодействия спортсмена с тренажером.
4. Что из себя представляют исполнительные элементы спортивных тренажеров и их основные особенности.
5. Какие физические принципы и биологические факторы лежат в основе функционирования исполнительных элементов тренажерных устройств.
6. Какие моторные и биологические показатели деятельности спортсмена подлежат преобразованию в электрические величины .
7. Сущность процесса преобразования неэлектрических величин в электрические, применительно к созданию спортивных тренажеров.
8. Перечислить физические принципы, на которых основан процесс преобразования неэлектрических величин в электрические, применительно к спортивному приборостроению.
9. Охарактеризовать основные параметры преобразователей неэлектрических величин в электрические.
10. Подробно описать конструкцию одного преобразователя, из множества преобразователей неэлектрических величин в электрические, используемых в спортивном приборостроении.
11. Перечислить основные структурные элементы тренажеров для спортивной тренировки.
12. Нарисовать структурную схему тренажеров для силовых и скоростно-силовых видов спорта.
13. Нарисовать структурную схему тренажеров для циклических видов спорта.
14. Нарисовать структурную схему тренажеров для видов спорта, основанных на двигательных взаимодействиях спортсменов.
15. Нарисовать структурную схему тренажеров для сложно-координационных видов спорта.

## Литература

1. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф. Крайнев. – М. : Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.
2. Левит, Н.Б. Автоматика / Н.Б. Левит, В.К. Подгайный; под ред. Н.Б. Левит. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1969. – 400 с.
3. Логинов, В.Н. Электрические измерения механических величин / В.Н. Логинов. – М.: Энергия, 1976. – 104 с., ил.
4. Скрипко, А.Д. Технологии в физической культуре и спорте: Учебно-методическое пособие / А.Д. Скрипко, М.Д. Юспа. – Мн.: Министерство

спорта и туризма Республики Беларусь, Государственное учреждение «Республиканский научно-методический центр физического воспитания населения», Белорусская инженерная академия, Институт современных знаний, 2001. – 124 с.: ил.

5. Тимошенко, В.В. Тренажеры в велосипедном спорте / В.В. Тимошенко. – Мн.: Издатель Труш Л.Н. Лицензия ЛВ 478, 1994. – 126 с.

6. Юшкевич, Т.П. Применение технических средств в обучении и тренировке спортсменов: Метод. Пособие / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, В.А. Буланов; под ред. Т.П. Юшкевича. – Мн.: Польша, 1987. – 240 с.

7. Юшкевич, Т.П. Тренажеры в спорте / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, В.А. Буланов; под ред. Т.П. Юшкевича. – М.: Физкультура и Спорт, 1989. – 320 с.



## Тема 8. Технические средства как элементы систем автоматического регулирования

### 8.1 Автоматическое регулирование, как основа функционирования применения тренажеров в спортивной тренировке

Управление спортивной тренировкой осуществляется по таким же закономерностям, как и управление в технических системах лишь с той разницей, что к физическим добавляются и биологические величины, значения которых необходимо изменять строго определенным образом, или поддерживать постоянными.

При эксплуатации технических устройств оператор взаимодействует со средствами управления объектом руками или ногами, когда мощные энергии управляются его малыми мускульными усилиями. Причем, здесь оператор находится в специально созданных для него комфортных условиях, а процесс регулирования может осуществляться ручным или автоматическим образом, реализуясь через функции «человек-оператор» в системе «человек-машина-среда».

В отличие от функций оператора в системе «человек-машина-среда», спортсмен в системе «спортсмен-тренажер-среда» наоборот, за счет собственных усилий вынуждает свои мышцы работать на максимуме возможностей при активном влиянии внешних факторов. При этом он своими «управляющими» действиями на выходе тренажера создает нужный тренирующий эффект, а система реагирует на эти действия, вырабатывая соответствующий отклик.

Если спортивный тренажер представить как систему регулирования, у которой выходная величина создает тренирующее или обучающее воздействие, а входная величина – это специфическое двигательное действие или состояние занимающегося, то такую систему целесообразно рассматривать в виде специфической системы регулирования (управления), упрощенная функциональная схема которой показана на рисунке 8.1.

Здесь спортсмен своими двигательными действиями  $X(vx)$ , через элемент взаимодействия, величиной  $X(t)$ , управляет системой, исполнительный элемент которой подстраивается под эти действия и вырабатывает соответствующий отклик  $Y(vyx)$  пропорциональный  $Y(t)$ . Направленность этого отклика может быть тренировочной, либо обучающей. Соотношение  $Y(t) = Y(vyx)$  означает, что коэффициент передачи элемента взаимодействия спортсмена с исполнительным элементом системы «спортсмен-тренажер-среда» равен 1,0. В случае ручного регулирования откликом  $Y(vyx)$  и величиной  $Z(t)$  управляет тренер, подавая на

исполнительный элемент через задающее устройство управляющую величину  $Z(vx)$ . Следует обратить внимание, что задающее устройство может работать и в автоматическом режиме (без участия тренера) в соответствии с имеющейся программой регулирования величины  $Z(t)$ .

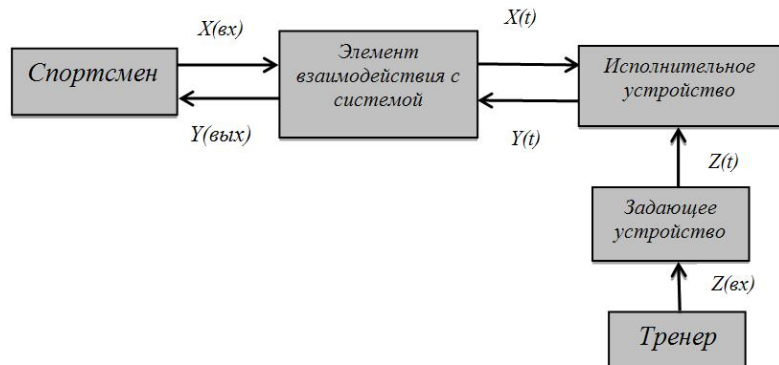


Рисунок 8.1 Упрощенная функциональная схема системы «спортсмен-тренажер-среда» в виде системы регулирования

При разработке спортивных тренажеров или тренировочных устройств, подобных системе показанной на рисунке 8.1, используются особенности функционирования систем регулирования, которые делятся на замкнутые и

разомкнутые.

Разомкнутые системы характеризуются отсутствием управляющей обратной связи с выхода системы на ее вход. Вследствие этого протекание процесса управления в разомкнутых системах не зависит от того, как система выполняет свои функции. В разомкнутой автоматической системе имеет место только прямое воздействие, например, когда спортсмен взаимодействует с тренажером, в исполнительный элемент команды поступают из задающего устройства.

С точки зрения теории регулирования, функциональная схема разомкнутой системы регулирования, применительно к тренажеру, может иметь вид, изображенный на рисунке 8.2.

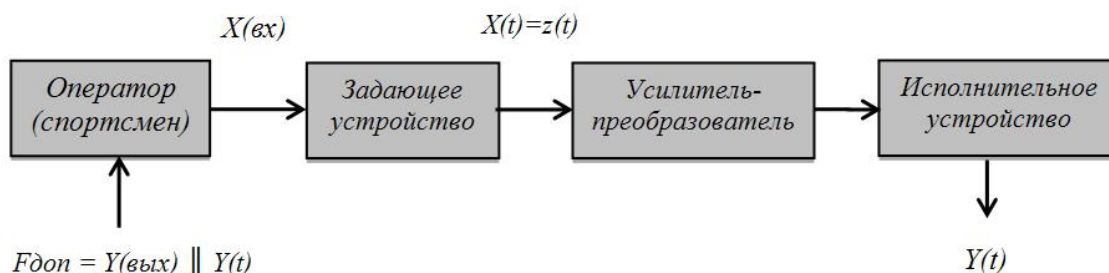


Рисунок 8.2 Функциональная схема разомкнутой системы автоматического регулирования

Представленная схема, при отсутствии информационной обратной связи, отражает конструктивные особенности простейших тренировочных устройств и приспособлений. К примеру, это могут быть всевозможные блочно-рычажные системы с различными видами и категориями отягощений, и т.п. Здесь входной величиной  $X(vx)$  является специфическое действие

спортсмена. Устройство, при помощи которого формируется необходимое значение выходной величины, называется задающим. В нем, в соответствии с величиной  $X(t)$ , вырабатывается управляющий сигнал  $Z(t)$ . Этот сигнал, через усилитель-преобразователь, передается на вход исполнительного устройства. Управляющий сигнал, при необходимости, преобразуется в усилителе-преобразователе и затем воздействует на исполнительное устройство, обладающее мощностью необходимой для создания требуемого тренирующего воздействия, например, некоторого дополнительного усилия  $Y(t)$ .  $Y(вых) = F \cdot доп$ .

Все разомкнутые системы имеют существенный недостаток, обусловленный отсутствием обратной связи по управляющему сигналу, и в меньшей степени, по информационному. Здесь, нет возможности видеть, как в действительности происходит процесс управления, действительно ли управляемая величина приняла заданное значение, соответствует ли ее изменение заданной программе.

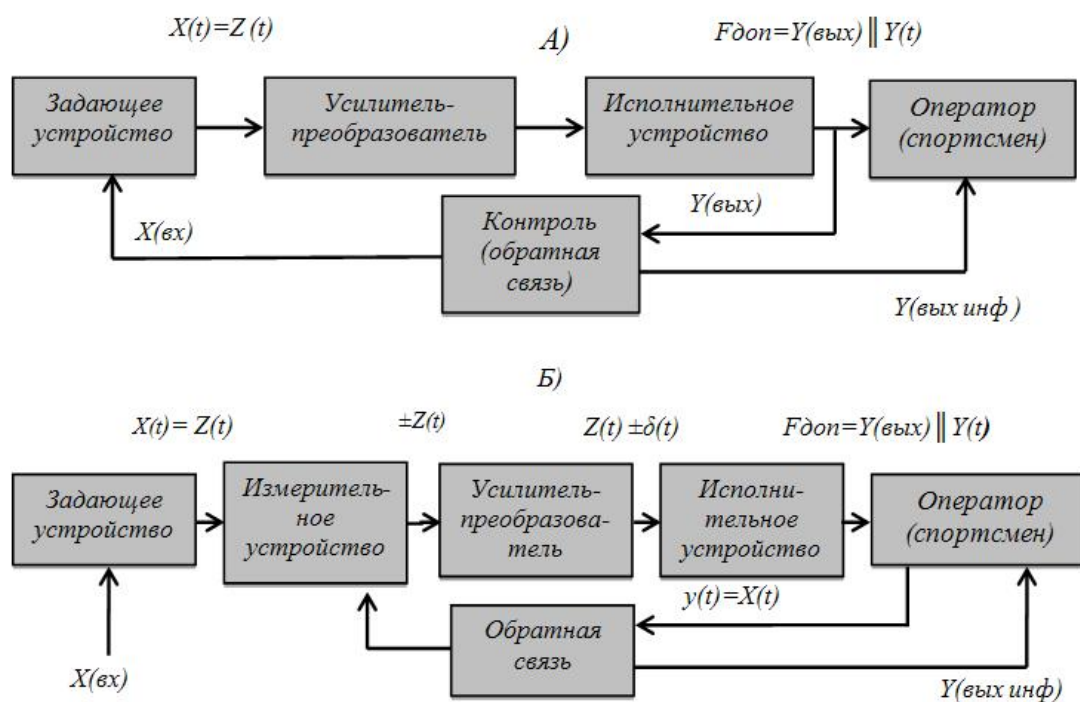


Рисунок 8.3. Замкнутые системы регулирования:  
 А – для тренажера на основе системы ручного регулирования; Б – для тренажера на основе системы автоматического регулирования

Если основой тренажерной системы является замкнутая система регулирования, то здесь всегда имеется обратная связь между входом и выходом (рисунок 8.3), от чего протекание процесса управления зависит от его результатов. Кроме организации управленческих функций по отношению к  $F \cdot доп = Y(вых)$ , такая обратная связь, в совокупности с информационными системами, является основой функционирования спортивных тренажеров.

Автоматические системы управления с обратной связью, имеющиеся в

тренажере или тренировочном устройстве и связывающие спортсмена с измерительными устройствами, называются системами автоматического регулирования. В неавтоматической системе регулирования с обратной связью (рисунок 8.3, А) главенствующая роль отводится оператору (спортсмену или тренеру). В такой системе, изменение регулируемой величины  $F_{дон}$  осуществляется в соответствии с тем значением, которое задается спортсменом или тренером. Регулируемая величина измеряется при помощи какого-либо измерительного устройства, и ее значение  $Y(t)$  по цепи обратной связи поступает спортсмену. Сравнивая показания контрольного прибора, измеряющего действительное значение регулируемой величины  $F_{дон}$  с заданным ее значением, спортсмен производит необходимые действия по ее поддержанию в заданных пределах, либо коррекции, с целью достижения нужного значения.

На измерительное устройство автоматической системы (рисунок 8.3, Б) помимо входного сигнала  $x(t)$  при помощи цепи обратной связи подается значение регулируемой величины  $Y(t)$  или зависящий от нее сигнал  $r(t)$ . В результате сравнения этих двух сигналов вырабатывается управляющий сигнал  $\pm z(t)$ , производящий дополнительное воздействие на систему. Разность между входной и выходной величинами называют сигналом рассогласования или ошибкой системы  $\delta(t)$ . Здесь управляющий сигнал является функцией не только входного сигнала, но и регулируемой величины. Он вырабатывается обычно в виде электрического или механического воздействия. Все зависит от особенностей исполнительного элемента. То обстоятельство, что в измерительном устройстве сигнал обратной связи вычитается из входного, говорит о наличии в замкнутых системах автоматического регулирования отрицательной обратной связи. Усилитель-преобразователь усиливает поступающий в него сигнал, а при необходимости преобразует его в сигнал другого вида и осуществляет некоторые функциональные преобразования сигнала (например, сглаживание флуктуаций, интегрирование сигнала и т. п.). После усиления сигнал поступает на исполнительное устройство, которое вырабатывает регулирующее воздействие, приложенное к объекту регулирования (к примеру, мышечная система спортсмена), так, чтобы происходило уменьшение рассогласования. Такое движение системы называется отработкой рассогласования. Так как система автоматического регулирования образует замкнутую цепь называемую контуром регулирования, действия спортсмена сводятся только к выполнению действий, обусловленных первоначальной установкой заданного режима работы системы. В зависимости от сложности системы автоматического

регулирования, или задач регулирования, отдельные элементы системы могут отсутствовать или быть выражены неявно. В системе может отсутствовать специальное задающее устройство. Исполнительное устройство в некоторых случаях представляет собой единое целое с усилителем-преобразователем, а в других – с объектом регулирования. Когда мощность управляющего сигнала достаточна для осуществления необходимого воздействия на регулируемый объект, то в системе может отсутствовать усилитель-преобразователь, т. е. осуществляется прямое регулирование. Зачастую усилительные и преобразовательные функции распределяются между несколькими элементами системы. Иногда регулируемый объект не входит в замкнутый контур регулирования, а исполнительное устройство непосредственно связано с измерительным.

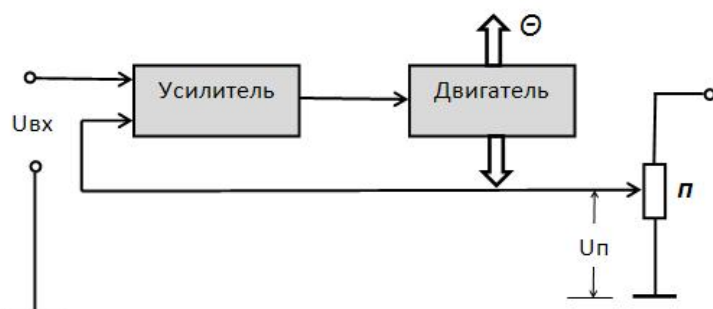


Рисунок 8.4 Привод механической обработки электрического напряжения

В качестве простейшего примера системы автоматического регулирования можно использовать систему электрического силового привода (рисунок 8.4). Данная система служит для преобразования электрического напряжения в пропорциональное ему

механическое перемещение (например, угол поворота выходного вала). Такого рода приводы служат для перемещения в фиксированное положение различных опор или стабилизации их положения в пространстве.

Входным сигналом системы является электрическое напряжение  $U_{вх}$ , а регулируемой величиной – угол поворота ( $\Theta$ ) выходного вала, на котором жестко закреплен движок потенциометра  $\Pi$ . Сигналом обратной связи является напряжение  $U_n$ , снимаемое с потенциометра и пропорциональное перемещению (положению) движка. Сравнение сигнала обратной связи с входным производится на входе усилителя, куда оба напряжения подаются в противоположной полярности. Если эти напряжения не равны, то их разностное напряжение будет усилено и подано на двигатель. Двигатель начнет вращаться и перемещать движок потенциометра. Направление вращения зависит от полярности питающего его напряжения и устанавливается так, чтобы перемещения движка происходило в сторону рассогласования. Как только напряжение  $U_n$  станет равным входному, разностное напряжение уменьшится до нуля и вращение двигателя прекратится. Таким образом, движок потенциометра автоматически устанавливается так, чтобы  $U_n = U_{вх}$ . Напряжение  $U_n$  на потенциометре

пропорционально перемещению движка. Следовательно, привод осуществляет пропорциональное преобразование входного напряжения в выходное механическое вращательное перемещение. Тренажеры, основанные на таком явлении, достаточно широко используются в различных видах спорта, когда необходимо выбирать или удерживать заданное положение тела спортсмена, его звеньев, манекенов, различных опорных площадок.

Необходимо указать на одну существенную сторону работы описанного привода, а также других систем автоматического регулирования. Напряжение, питающее электродвигатель, станет равно нулю как только устранится рассогласование напряжений. Однако в следствие инерции движения его якорь еще некоторое время будет продолжать вращаться, перемещая движок потенциометра. В системе появится рассогласование другого знака (полярности), которое начнет отрабатываться теперь уже в обратную сторону и т. д. В результате этого возникнет колебательный процесс, который может продолжаться некоторое время. Для его устранения необходимо принимать специальные меры или, как принято говорить, осуществлять коррекцию системы, являющуюся важной и подчас сложной задачей. В теории автоматического регулирования методы коррекции рассматриваются отдельно.

В основу классификации систем автоматического регулирования, на основе которых создаются спортивные тренажеры и тренировочные устройства, могут быть положены различные признаки. Основными из них являются особенности изменения регулируемой величины. По этому признаку системы автоматического регулирования делятся на три группы:

– *системы автоматической стабилизации*, как основа конструкции тренажеров и тренировочных устройств для сложно-координационных и циклических видов спорта и др.;

– *системы программного регулирования* – для силовых, скоростно-силовых и циклических видов спорта;

– *следящие системы* – для двигательных взаимодействий спортсменов, сложно-координационных видов спорта и др.

Другим классификационным признаком может служить способ конструктивного исполнения системы автоматического регулирования, который определяется главным образом источниками энергии, используемыми для осуществления непосредственного воздействия на регулируемый объект (анализаторы и мышечная система спортсмена). Таким образом, можно выделить следующие системы:

- электронные системы;
- электромеханические системы;
- гидравлические системы;
- пневматические системы.

В основу классификации могут быть положены и другие признаки, например, мощность исполнительного элемента, точность работы и характер

ошибок, методы коррекции ошибок и т. д.

Элементы, входящие в состав систем регулирования, различаются по конструктивному оформлению, характеру совершающихся в них физических явлений, а также по тем функциям, которые они выполняют в системе, т. е. по тем преобразованиям, которые они производят с входными сигналами. Однако, с точки зрения процесса регулирования существенным является не то, как конструктивно выполнен тот или иной элемент, а то, как данный элемент реагирует на входное воздействие и какие преобразования совершаются в нем при этом воздействии. Так, например, совершенно безразлично, как усилитель преобразует сигнал, т. е. является ли этот усилитель электронным, гидравлическим или пневматическим. Главное, чтобы усиление входного воздействия происходило без искажения.

## 8.2 Элементарные звенья систем регулирования в спортивных тренажерах

В элементах, образующих системы регулирования в спортивных тренажерах и тренировочных устройствах, преобразования, происходящие с физическими величинами, можно представить в виде сравнительно небольшого числа простейших преобразований. Это позволяет разнообразные элементы систем регулирования заменять эквивалентной комбинацией, так называемыми *элементарными звеньями*.

*Элементарными звеньями систем регулирования* считаются такие элементы систем, в которых происходят простейшие преобразования физических величин (сигналов). Учитывая, что в спортивной практике преобладают ситуации, когда имеют место изменения положения объектов в пространстве и проявляемых усилий в максимально короткое время, крайне важно знать, как эти элементарные звенья реагируют на подобные перемещения и усилия, что происходит с их преобразующей функцией в зависимости от времени действия входного сигнала.

Представление любой системы в виде комбинации элементарных звеньев является чрезвычайно удобным приемом как при анализе процессов регулирования и работы систем, так и при проектировании систем с заданными свойствами. Преобразования, осуществляемые элементарным звеном, характеризуются отношением изображения выходной величины  $Y(p)$  к изображению величины на его входе  $X(p)$ . Это отношение называется передаточной функцией звена:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$$

Данное выражение означает, что любая изменяющаяся во времени функция  $f(t)$  может быть записана в виде операторного изображения этой функции  $F(p)$ .

Пусть имеется какая-либо изменяющаяся во времени величина (функция времени  $f(t)$ ). Этой величиной может быть сила, расстояние, время реакции, угол поворота вала, напряжение, ток, мощность и т. д. Эта функция называется оригиналом.

Операторным изображением этой функции или данного оригинала называется новая функция, связанная с первым соотношением:

$$F(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} f(t) dt$$

Обратно от изображения функции можно перейти к ее оригиналу. Операция взаимного перехода записывается следующим образом:

$$f(t) \Leftrightarrow F(p)$$

В этой записи от данной функции  $f(t)$  можно перейти к ее изображению  $F(p)$ , и наоборот, от изображения данной функции  $F(p)$  можно перейти к самой функции  $f(t)$ . Величина  $p$  является комплексной и после преобразования функции будет в дальнейшем применяться как символ операторной формы записи. При решении большинства задач приходится иметь дело с весьма небольшим количеством операторных изображений функций, значение которых полезно запомнить, чтобы каждый раз не вычислять их.

У линейного звена выражение передаточной функции не зависит от конкретного вида входной величины. Передаточная функция определяется лишь теми преобразованиями, которые осуществляются в данном звене. Из всех величин, которые могут воздействовать на звенья или систему в целом, выбирают некоторые типовые величины или сигналы удобные для анализа. Такими величинами чаще всего являются сигналы, изменяющиеся по синусоидальному закону (гармонический сигнал) или единичные перепады, когда  $A = 0$ , при  $t < t_l$  и  $A = 1,0$ , при  $t > t_l$ . Реакция на такие величины зависит от свойств данного звена и может служить его характеристикой.

Значительный интерес для исследования свойств систем и звеньев, обеспечивающих работу элементов тренажеров и тренировочных устройств, представляет изучение реакции системы или звена на воздействие единичного перепада, изображение которого равно  $1/p$ .

Зависимость выходной величины или сигнала от времени при



воздействии на вход единичного перепада называется переходной характеристикой звена или системы. Переходная характеристика достаточно полно отражает свойства звена или системы. При помощи этой характеристики можно сравнительно простыми вычислениями определить, как реагирует система на входные величины или сигналы других типов. Для нахождения переходных и частотных характеристик необходимо предварительно записать выражение для передаточной функции рассматриваемого звена.

Определим выражение для передаточной функции различных элементарных звеньев, которые выполняют определенные операции над входными величинами.

*Пропорциональное звено.* В пропорциональном звене выходной сигнал (величина) пропорционален входному. Это записывается следующим образом:

$$y(t) = Knx(t)$$

где  $Kn$  – коэффициент передачи звена, представленный размерной величиной. Это значит, что передаточная функция пропорционального звена равна коэффициенту передачи:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = Kn$$

При воздействии перепада входного сигнала (величины) выходной сигнал в пропорциональном звене будет также иметь форму перепада, но его величина может быть иной. Если входной сигнал является синусоидальным, то в силу пропорциональности выходной сигнал будет также синусоидальным и т. д. Иногда пропорциональные звенья называют безынерционными.

Примерами пропорциональных звеньев оборудования для спортивной тренировки могут быть потенциметрические (реостатные) усилители, делители напряжения на активных сопротивлениях, рычажные системы, зубчатые и другие виды передач, гидравлические силовые системы и т. д.

Пропорциональность между выходной и входной величиной соблюдается, как правило, если входное воздействие не очень велико и лежит в определенных границах. При значительных входных сигналах коэффициент передачи  $Kn$  не остается постоянным, а изменяется, в результате чего звено становится нелинейным. Примером может служить электронный усилитель, когда при больших величинах входного сигнала неизбежно возникает его ограничение.

*Дифференцирующее звено.* Дифференцирующим называется звено, у которого выходной сигнал  $y(t)$  представляет собой производную входного

сигнала  $x(t)$ :

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$$

В этом звене выходной сигнал определяется скоростью изменения входного. Чтобы найти передаточную функцию дифференцирующего звена представим данное выражение в операторной форме. Так как дифференцированию функции соответствует умножение ее изображения на  $p$ , то в операторной форме будем иметь:

$$Y(p) = pX(p)$$

Отсюда передаточная функция будет равна:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = Kn$$

Из самого определения дифференцирующего звена следует, что чем больше будет скорость изменения входной величины, тем больше будет величина выходного сигнала. Однако невозможно создать такое устройство, у которого любое увеличение скорости входного воздействия будет сопровождаться пропорциональным возрастанием величины выходного и, в частности, при воздействии перепада входного сигнала получить бесконечно большой сигнал на выходе. Это говорит о том, что идеальное дифференцирование практически осуществить невозможно. К числу элементарных звеньев, образующих конструкции спортивных тренажеров или тренировочных устройств, осуществляющих приближенное дифференцирование входного сигнала, относятся различные тахогенераторы, механические датчики ускорений, специальные схемы электронных усилителей. Наиболее точно осуществляют операцию дифференцирования различные цифровые устройства с высоким быстродействием.

*Интегрирующее звено.* Интегрирующим называется звено, у которого выходной сигнал  $y(t)$  представляет собой интеграл входного сигнала  $x(t)$ :

$$y(p) = \int x(t) dt \text{ или } \frac{dy(t)}{dt} = x(t)$$

Отсюда следует, что в интегрирующем звене скорость изменения выходного сигнала пропорциональна величине входного. Так как интегрированию исходной функции соответствует деление ее операторного изображения на  $p$ , то в операторной форме исходное соотношение примет вид:

$$Y(p) = \frac{X(p)}{p}$$

Отсюда передаточная функция интегрирующего звена будет равна:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1}{p}$$

Во всех практически используемых устройствах осуществляется пропорциональное интегрирование, т. е. выходной сигнал не равен, а пропорционален интегралу входного. В этом случае коэффициент пропорциональности имеет размерность обратную времени ( $1/\text{сек}$ ), и часто обозначается через  $1/T$ :

$$y(t) = \frac{1}{T} \int x(t) dt$$

Само же интегрирующее устройство может быть представлено как соединение интегрирующего звена с безынерционным усилителем, имеющим коэффициент передачи равный  $1/T$ . При воздействии единичного перепада входного сигнала выходной сигнал будет нарастать пропорционально времени. Действительно, при  $x(t)=1$ :

$$y(t) = \frac{1}{T} \int x(t) dt = \frac{1}{T} \int dt = \frac{t}{T}$$

Это и есть переходная характеристика интегрирующего звена. Такая характеристика наиболее свойственна упругим объектам, на которые действует растягивающая или сжимающая сила спортсмена.

*Инерционное звено.* Наиболее распространенными среди всех элементарных звеньев являются инерционные. Это связано с тем, что определенная инерция свойственна всем протекающим в природе процессам. Она проявляется в том, что при приложении какого либо физического воздействия соответствующая реакция не сразу достигнет конечного значения. В большинстве случаев реакция возрастает по экспоненциальному закону. Элементарные звенья, имеющие переходную характеристику в виде нарастающей экспоненты, называются инерционными. По переходной характеристике можно легко найти передаточную функцию инерционного звена. Изображение входного сигнала единичного перепада равно:

$$X(p) = \frac{1}{p}$$

Изображение нарастающей экспоненты  $y(t) = 1 - e^{-t/T}$  будет:

$$Y(p) = \frac{1}{p} - \frac{T}{1 + pT} = \frac{1}{p(1 + pT)}$$

откуда передаточная функция:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{1}{1 + pT}$$

Величина  $T$  называется постоянной времени звена. Чем больше  $T$ , тем больше инерционность звена. После перехода к оригиналам, последнее выражение можно представить в виде:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{T}[x(t) - y(t)]$$

В таком виде уравнение инерционного звена может быть рассмотрено следующим образом. В левой части уравнения стоит производная выходного сигнала, физический смысл которой – скорость его изменения; в правой – величина пропорциональная разности между входным и выходным сигналами. Следовательно, в инерционном звене скорость изменения выходного сигнала пропорциональна разности мгновенных значений входного и выходного сигналов. По мере того как величина приближается к значению входного, скорость его изменения убывает.

По отношению к входному напряжению цепь является последовательной. Передаточная функция, равная отношению изображения выходного и входного напряжений, может быть определена как отношение операторных сопротивлений тех участков цепи, на которых эти напряжения действуют:

$$K(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{\frac{1}{pC}}{\frac{1}{pC} + R} = \frac{1}{1 + pCR} = \frac{1}{1 + pT}$$

где  $T = RC$  - постоянная времени цепи.

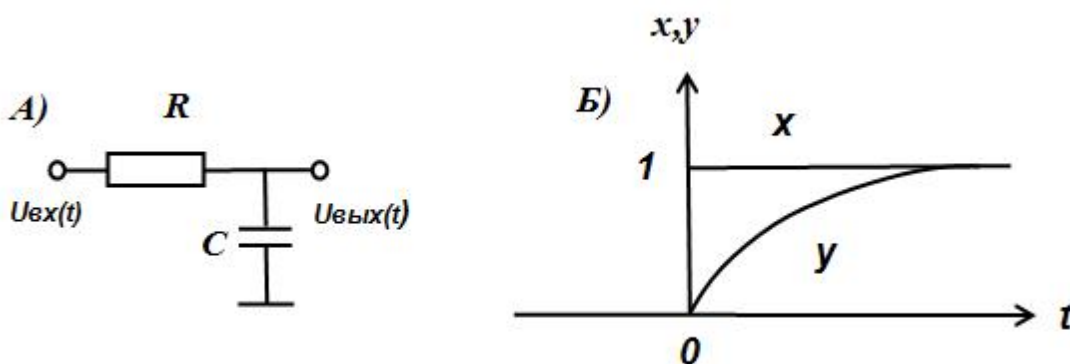


Рисунок 8.5 Инерционное звено  
А – цепь RC; Б – переходная характеристика цепи

Существует множество примеров механических и электрических инерционных звеньев. Простейшим из них является электрическая цепь RC

(рисунок 8.5). При работе с тренировочным устройством инерционное звено наиболее ярко проявляет себя, когда приложенным усилием спортсмен или его звенья выводятся из состояния покоя или переходят в состояние покоя после движения.

*Форсирующее звено.* Форсирующим называется звено, в котором на вход подается два сигнала. Один из них является непосредственно входным сигналом, а другой – в виде пропорциональной производной этого сигнала:

$$y(t) = x(t) + T \frac{dx(t)}{dt}$$

где  $T$  – постоянное число, имеющее размерность времени, в дальнейшем, по аналогии с предыдущими примерами, следует называть его – постоянной времени звена.

Предыдущее уравнение, записанное в операторной форме имеет вид:

$$Y(p) = X(p) + pTX(p)$$

откуда передаточная функция форсирующего звена:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = 1 + pT$$

Это значение является обратным по сравнению с передаточной функцией инерционного звена. Поэтому, если форсирующее звено применять совместно с инерционным, то при равенстве их постоянных времени ( $T$ ), влияние инерционного звена будет полностью скомпенсировано и система станет безынерционной. Это обстоятельство широко используется для улучшения работы систем регулирования. Следует иметь в виду, что в чистом виде получить форсирующее звено невозможно, по той же причине, по которой нельзя получить идеального дифференцирования. Однако форсирующими свойствами могут обладать некоторые более сложные звенья. Одним их элементарных форсирующих звеньев можно считать массивный маховик, раскручиваемый мускульными усилиями спортсмена. Постоянная времени  $T$  характеризует время приложения усилий спортсмена, направленных на достижение маховиком максимальной угловой скорости (оборотов). Подобное явление отмечается и у электродвигателей, когда с момента их подключения к источникам питания до набора якорем максимальных оборотов проходит заметный промежуток времени. В силу того, что в природе не существует безынерционных механических и электрических звеньев, можно считать форсирующие звенья наиболее распространенными в большинстве конструкций спортивных тренажеров.

*Колебательное звено.* Колебательными называются звенья, в которых в процессе работы может происходить обмен энергией между отдельными элементами звена. Так, например, кинетическая энергия может превращаться

в потенциальную или в энергию упругой деформации сжатой пружины, энергия электрического поля – в энергию магнитного поля и т.п. Эти превращения носят колебательный характер и обычно сопровождаются потерями энергии – затуханием. В зависимости от величины потерь затухание происходит быстрее или медленнее, а при очень больших потерях процесс может стать аperiодическим.

В качестве примера колебательного звена следует рассмотреть электрический колебательный контур, выходное напряжение которого снимается с емкости (рисунок 8.6 А).

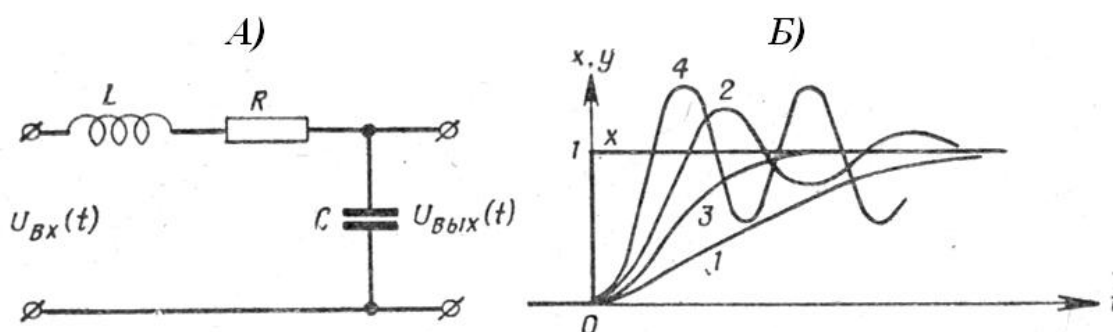


Рисунок 8.6 Колебательное звено

А – схема электрического колебательного звена; Б – переходные характеристики звена

Аналогом такого контура может быть свободная механическая система со сжатой пружиной.

Передаточная функция такого звена:

$$K(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{\frac{1}{pC}}{\frac{1}{pC} + pL + R} = \frac{1}{1 + pCR + p^2LC}$$

Собственная частота  $\omega_0$  контура, показанного на рисунке 8.6 А равна:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Обратную величину  $\omega_0$  можно назвать постоянной времени звена.

$$T = \sqrt{LC}$$

Эта величина характеризует скорость протекания процессов в звене (ее не следует путать с периодом колебаний).

Отношение активного сопротивления  $R$  к волновому сопротивлению контура:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

называется затуханием звена и обозначается через выражение:

$$2\xi = \frac{R}{\rho}$$

Чем больше значение этого выражения, тем большие будут потери в контуре, тем быстрее будет происходить затухание колебаний. Если воспользоваться приведенными выражениями, то передаточная функция колебательного звена примет вид:

$$K(p) = \frac{1}{1 + 2\xi pT + p^2 T^2}$$

Такие же обозначения можно ввести и в колебательных звеньях другого типа. Из общей теории колебательных контуров известно, что характер переходных процессов в них зависит от величины затухания. При  $\xi < 1$  колебания в контуре носят затухающий характер, при  $\xi > 1$  – апериодический. Случай, когда  $\xi = 1$ , является критическим.

На рисунке 8.6 Б показаны графики переходных процессов (переходные характеристики) в колебательном звене при различных значениях затухания. Входной сигнал  $U_{вх} = x(t)$  имеет вид единичного перепада. График 1 соответствует значению  $\xi > 1$ , график 2 – значению  $\xi < 1$  и график 3 – критическому затуханию.

Если в контуре активное сопротивление отсутствует ( $R = 0$ ) и нет потерь, то равно нулю и затухание звена. Такое звено называется идеальным. Его передаточная характеристика равна:

$$K(p) = \frac{1}{1 + p^2 T^2}$$

Хотя колебательный контур такого типа нельзя сделать идеальным, в некоторых колебательных звеньях других типов возможен случай полного отсутствия затухания. Это связано с восполнением потерь энергии за счет какого-либо постороннего источника. Колебания становятся незатухающими (график 4, рисунок 8.6 Б). Если пополнение энергии происходит быстрее, чем ее потери, то амплитуда колебаний будет нарастать, что соответствует отрицательному значению затухания.

Если входной сигнал колебательного звена является гармоническим сигналом, а в самом звене нет потерь, то в этом звене возникают собственные колебательные процессы. Тогда в неправильно функционирующем звене собственные колебания могут накладываться на входной сигнал и при

передаче сигнала могут возникать существенные искажения в виде резонансных явлений, биений, модуляций.

*Явление резонанса.* Само явление резонанса, если оно не предусмотрено требованиями к конструкции спортивного тренажера или тренировочного устройства – явление негативное, значительно ухудшающее эксплуатационные свойства тренажера.

На примере механического колебательного звена, имеющего массивное тело, жестко связанное с упругим элементом в виде пружины, резонансное явление проявляется, когда входной сигнал  $U_{вх} = A \sin pt$ , где  $p$  некоторое усилие на пружину  $A$ . Амплитудное значение  $p$ , приближается по своей частоте, к частоте собственных колебаний  $\omega_0$ , и как результат, накладываются один на другой. В этом случае в звене возникают колебания с амплитудой равной:

$$A = \frac{p}{c} \cdot \frac{1}{1 - p^2 / \alpha_0^2}$$

Здесь, величина  $p/c$  характеризует упругое перемещение пружины при условии, что усилие на входе звена действует статически (пружина находится в «поджатом» состоянии). При действии этого усилия по гармоническому закону, величина  $p/c$  умножается на коэффициент усиления равный:

$$\beta = \frac{1}{1 - p^2 / \alpha_0^2}$$

и зависящий от отношения частоты вынуждающей входной величины  $p$  к собственной частоте  $\omega_0$  звена.

Из этой формулы видно, что с приближением значений  $p$  к значению  $\omega_0$ , амплитуда  $A$  неограниченно растет, если отсутствуют демпфирующие силы, вызывающие затухание колебательных процессов (трение, вязкость среды, электрическое сопротивление, потери энергии). Это означает, что если необходимо избежать нежелательных резонансных явлений в конструкции тренажера, то необходимо вводить в такую конструкцию дополнительные элементы, демпфирующие колебательные процессы, возникающие в отдельных узлах тренажеров. Следует отдельно отметить, что в зависимости от внешних и внутренних факторов, колебательным звеном может стать любое динамическое звено конструкции тренажера, вне зависимости от особенностей его конструкции. Величина  $U_{вх} = A \sin pt$  может возникнуть на любом упругом элементе динамического звена и по цепи паразитной обратной связи передаться на его вход. Тогда, например, инерционное звено может превратиться в колебательное т. е. – самовозбудиться.

При исследовании функционирования систем автоматического регулирования необходимо находить передаточные функции различных



соединений звеньев. При нахождении передаточных функций таких соединений необходимо руководствоваться следующими правилами, – все звенья направленные и независимые. Это означает:

- сигналы в звеньях могут проходить только в одном направлении – от входа к выходу;
- подключение последующих звеньев не влияет на характер процессов в предыдущих.

Свойства направленности и независимости можно показать на примере электронного усилителя. При подаче переменного напряжения на базу транзистора появляется усиленное переменное напряжение на его коллекторе. То же переменное напряжение поданное на коллектор транзистора не вызовет исходных колебаний на базе, т. е. сигнал проходит только от входа (база транзистора) к выходу (нагрузочное сопротивление коллектора транзистора). Подключение следующего каскада может повлиять на процессы в данном каскаде (звене), например изменить коэффициент усиления. Этого не произойдет, если входное сопротивление последующего каскада (звена) будет намного больше выходного сопротивления предыдущего.

### 8.3 Соединения звеньев систем регулирования в спортивных тренажерах

В автоматических системах регулирования используются следующие типы соединений: *последовательное, параллельное и соединение обратной связью.*

*Последовательное соединение звеньев.* При последовательном соединении звеньев (рисунок 8.7) выходной сигнал предыдущего звена является входным последующего.

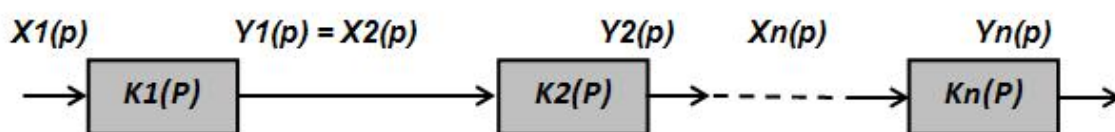


Рисунок 8.7 Последовательное соединение звеньев

Определим передаточные функции последовательной цепочки звеньев, если известны передаточные функции отдельных звеньев:

$$K1(p) = \frac{Y_1(p)}{X_1(p)}; K2 = \frac{Y_2(p)}{X_2(p)} \dots K_n(p) = \frac{Y_n(p)}{X_n(p)}$$

Для произведения всех передаточных функций:

$$K_1(p)K_2(p)\cdots K_n(p) = \frac{Y_1(p)}{X_1(p)} \cdot \frac{Y_2(p)}{X_2(p)} \cdots \frac{Y_n(p)}{X_n(p)}$$

Так как выходной сигнал предыдущего звена является входным сигналом для последующего, то

$$Y_1(p) = X_2(p); Y_2(p) = X_3(p) \cdots Y_{n-1}(p) = X_n(p)$$

что позволяет произвести сокращения в правой части равенства. В результате получается:

$$K_1(p)K_2(p)\cdots K_n(p) = \frac{Y_n(p)}{X_1(p)}$$

Это изображение общего выходного сигнала к изображению входного и есть передаточная функция всей системы.

Таким образом, передаточная функция системы, состоящей из нескольких направленных элементов (звеньев), равна произведению их передаточных функций:

$$K(p) = K_1(p) + K_2(p) + \cdots + K_n(p) \quad (8.2)$$

При параллельном соединении на вход всех звеньев с передаточной функцией  $K_1(p)$ ,  $K_2(p)$ , ...,  $K_n(p)$  подается общий сигнал  $K(p)$ , а выходной сигнал  $Y(p)$  является суммой выходных сигналов отдельных звеньев (рисунок 8.8)

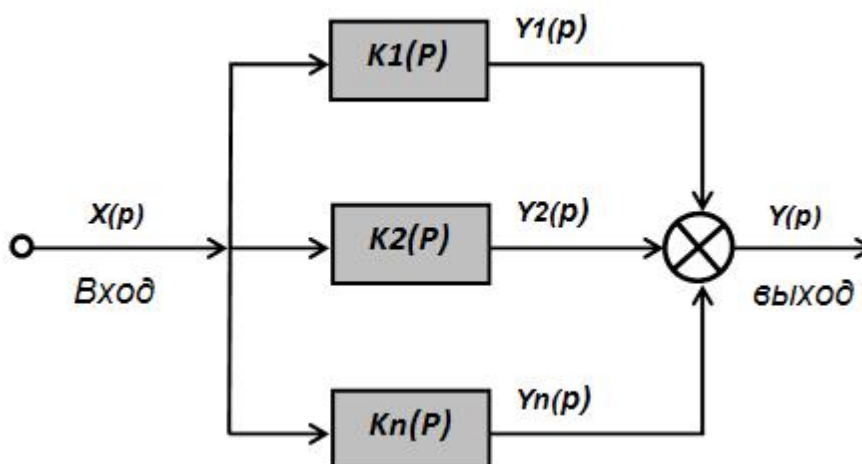


Рисунок 8.8 Параллельное соединение звеньев

Так как

$$Y(p) = Y_1(p) + Y_2(p) + \dots + Y_n(p)$$

$$Y_1(p) = K_1(p)X(p); Y_2(p) = K_2(p)X(p) \dots Y_n(p) = K_n(p)X(p)$$

$$Y(p) = X(p)[K_1(p) + K_2(p) + \dots + K_n(p)]$$

Передаточная функция соединений:

$$\frac{Y(p)}{X(p)} = K(p)$$

тогда передаточная функция соединения звеньев:

$$K(p) = K_1(p) + K_2(p) + \dots + K_n(p) \quad (8.2)$$

Это означает, что передаточная функция параллельного соединения звеньев равна сумме передаточных функций отдельных звеньев.

*Соединение обратной связью.* При таком соединении сигнал, поступающий на данное звено  $K(p)$ , образуется в результате сложения или вычитания входного и выходного сигналов звена (рисунок 8.9)

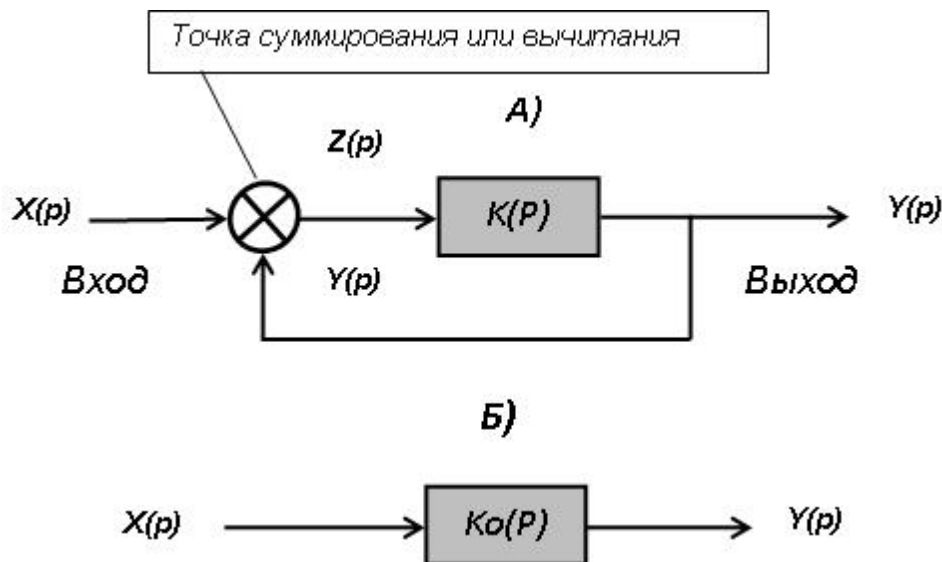


Рисунок 8.9 Соединение обратной связи  
А – схема соединения; Б – эквивалентная схема

Если обозначить через  $Z(p)$  сигнал поступающий на звено  $K(p)$ , то при соединении обратной связью

$$Z(p) = X(p) + Y(p) \quad (8.3)$$

или

$$Z(p) = X(p) - Y(p) \quad (8.4)$$

В первом случае связь называется положительной, во втором – отрицательной. В системах автоматического регулирования почти всегда применяется отрицательная обратная связь. Соединение отрицательной обратной связи можно заменить одним динамическим звеном  $K_0(p)$  с сигналом на входе  $X(p)$  и выходным сигналом  $Y(p)$  (рисунок 8.9, Б). Из рисунка 8.9, А следует, что сигнал  $Y(p)$  можно найти, умножив сигнал  $Z(p)$  на передаточную функцию звена  $K(p)$ :

$$K_0(p) = \frac{Y_n(p)}{X_n(p)}$$

Если найти соотношение между  $K_0(p)$  и  $K(p)$ , то из рисунка 8.9, А следует, что сигнал  $Y(p)$  можно найти, умножив сигнал  $Z(p)$  на передаточную функцию звена  $K(p)$ :

$$Y(p) = K(p)Z(p)$$

Подставив в это выражение, значение  $Z(p)$  из формулы (8.3), получим

$$Y(p) = K(p)[K(p) - Y(p)]$$

откуда находим

$$Y(p)[1 + K(p)] = K(p)X(p)$$

Следовательно

$$K_0(p) = \frac{Y_n(p)}{X_n(p)} = \frac{K(p)}{1 + K(p)} \quad (8.5)$$

Полученная формула выражает важнейшее соотношение, используемое в автоматическом регулировании.

В заключении следует рассмотреть некоторое обобщение формулы (8.5). Пусть имеется система, состоящая из двух звеньев  $K_1(p)$  и  $K_2(p)$ , охваченных отрицательной обратной связью (рисунок 8.10 А). Требуется найти зависимость между величиной  $F(p)$  на выходе звена  $K_1(p)$  и входным воздействием  $K(p)$ , поданным на систему.

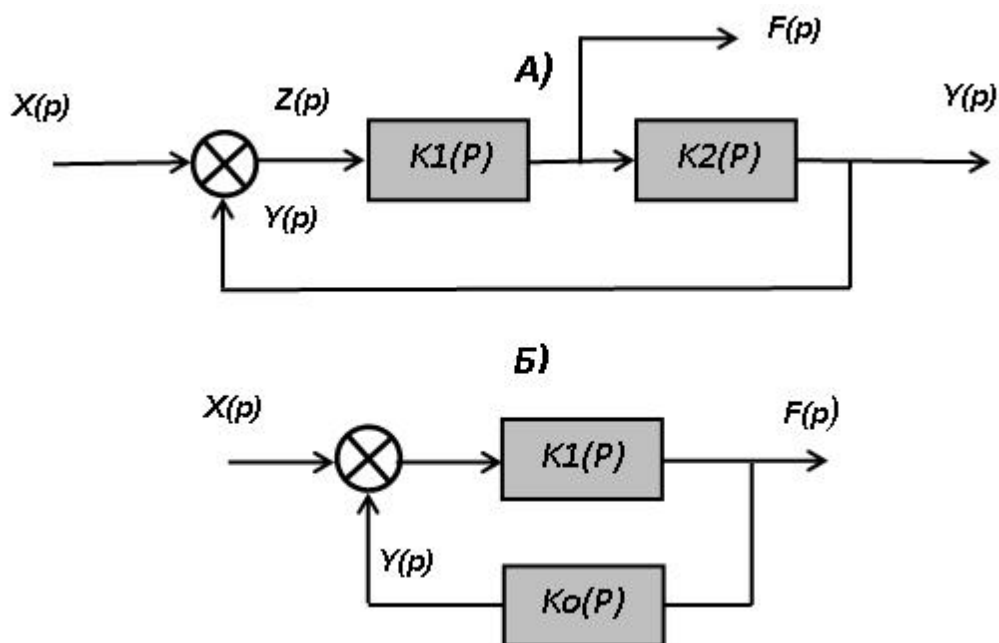


Рисунок 8.10. Обобщенная схема соединения обратной связью  
 А - при наличии отрицательной обратной связи; Б - для безынерционного усилителя

На основании формулы (8.5)

$$Y(p) = X(p) \frac{K(p)}{1 + K(p)}$$

Поскольку сигнал  $F(p)$  является входным для звена  $K_2(p)$ , то

$$F(p) = \frac{Y(p)}{K_2(p)}$$

Подставляя значение  $Y(p)$  из предыдущего уравнения и учитывая, что согласно формуле (8.1)  $K(p) = K_1(p) K_2(p)$ , получим:

$$F(p) = X(p) \frac{K(p)}{1 + K(p)} \cdot \frac{1}{K_2(p)} = X(p) \cdot \frac{K_1(p)}{1 + K(p)} \quad (8.6)$$

Последняя формула позволяет найти сигнал в промежуточной точке системы. Следует обратить внимание на то, как построена полученная формула. Ее числитель включает произведение входного сигнала на передаточную функцию звена, расположенную между входом системы и точкой искомого возмущения. Знаменатель является суммой единицы и произведения  $K(p) = K_1(p) K_2(p)$  всех звеньев системы.

Произведение  $K(p)$  называется передаточной функцией разомкнутой системы. Она равна отношению изображений входного сигнала к управляющему:

$$K(p) = \frac{Y(p)}{Z(p)} = K1(p)K2(p)$$

Если звено  $K2(p)$  представляет собой безынерционный усилитель с коэффициентом  $\beta$  (рисунок 8.10 Б), то формула (8.4) приобретает вид:

$$F(p) = X(p) \frac{K1(p)}{1 + \beta K1(p)}$$

В таком виде эта формула хорошо известна из теории усилителей с обратной связью.

#### 8.4 Колебательные системы и электромеханические аналоги

Многие отличные по своей физической природе явления оказываются весьма схожими благодаря подобию связанных с ними процессов. Эти сходства или подобия, являющиеся одной из иллюстраций единства природы в целом, приводят к тому, что два существенно различных между собой процесса при сопоставлении, оказываются схожими в своем протекании во времени. При надлежащем подборе количественных значений участвующих в них физических величин, они как бы воспроизводят друг друга. Если один из процессов на практике трудно осуществим, а другой легко и сходство или подобие их строго установлено, то достаточно изучить второй процесс. В такого рода ситуациях применяется принцип построения аналогий.

В механике, и вообще в физике, существует множество аналогий. Аналогия двух подобных процессов может быть проведена на основании характера изменения во времени величин участвующих в том и другом процессе. В конечном счете это сводится к аналогии в математическом описании этих процессов, поскольку математическое описание дает простейшее и наиболее точное выражение явления или процесса, так как оно отражает и количественное соотношение. Это означает, что аналогия в определенных случаях устанавливает полную тождественность между уравнениями и формулами для одного и другого процесса.

К числу известных аналогий принадлежит, например, электромеханическая аналогия колебаний.

Наряду с механическими колебаниями существуют колебания в электрических цепях. Те и другие описываются и теми же дифференциальными уравнениями.

На рисунке 8.11, А изображена механическая колебательная система с одной степенью свободы. Дифференциальное уравнение колебаний этой системы для скорости  $v = \dot{x}$  движения тела массой  $m$  имеет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k \dot{x} + c \int x dx = P_0 \sin pt$$

На рисунке 8.11, Б изображена электрическая цепь, в которую последовательно включены индуктивность  $L$ , емкость  $C$  и сопротивление  $R$ . При подаче в цепь напряжения  $U(t) = U_0 \sin pt$  колебания тока  $i$  в цепи описываются дифференциальным уравнением:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = U_0 \sin pt \quad (8.)$$

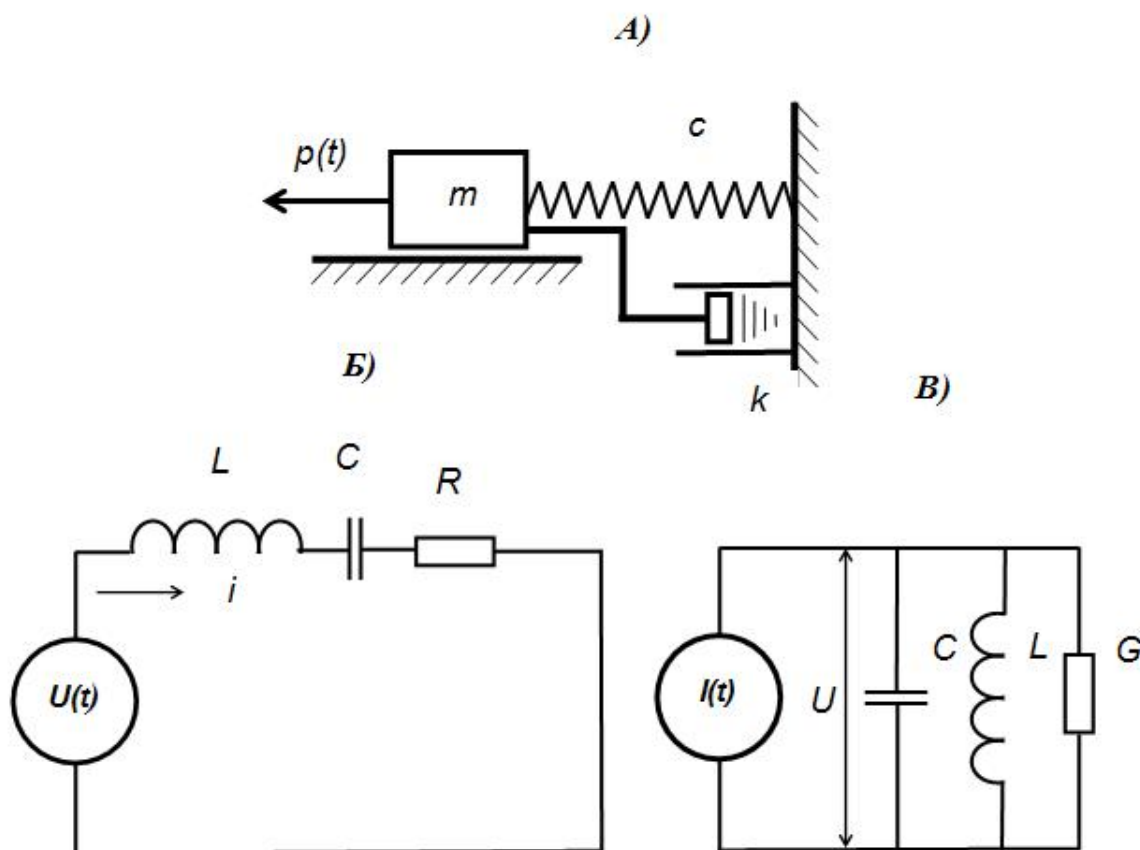


Рисунок 8.11 Механическая (А) и электрические (Б, В) колебательные системы

Для другой электрической цепи (рисунок 8.11 В), в которой параллельно включены емкость  $C$ , индуктивность  $L$ , и проводимость  $G$ , и в которую подается  $I(t) = I_0 \sin pt$ , колебания напряжения  $U$  описываются дифференциальным уравнением:

$$C \frac{du}{dt} + gi + \frac{1}{L} \int u dt = I_0 \sin pt \quad (8.10)$$

Две модели рисунка 8.11, *Б* и *В* представляют два различных аналога механической колебательной системы изображенной на рисунке 8.11, *А*, а дифференциальные уравнения 8.9 и 8.10 выражают две различные системы аналогий дифференциального уравнения 8.8. Если взять, например, уравнение 8.9, то приравняв значения  $L, R, C$  и  $m, k$  и  $1/c$  в уравнении 8.8, сможем решить задачу для исследования механических колебаний с помощью наблюдения над электрической системой. Описанные аналоги позволяют понять всю систему соответствия величин, относящихся к механической и электрическим системам. В качестве механических величин могут использоваться как декартовы, так и угловые координаты скорости, обобщенные координаты скорости, а также силы и пары сил или обобщенные силы. Ниже в таблице показаны электрические аналоги механических величин по двум системам аналогий.

#### Электрические аналоги механических величин

Механическая система, механические величины	Электрическая цепь	
	1-я система аналогий, физические величины	2-я система аналогий, физические величины
Обобщенная координата $x, \theta$	Заряд $q$	Магнитное потокосцепление $\psi$
Обобщенная скорость $\dot{x} = dx/dt, \dot{\theta} = d\theta/dt$	Ток $i = dq/dt$	Напряжение $u$
Обобщенная сила — сила $P$ , момент $M$	Напряжение $u = d\psi/dt$	Ток $i = dq/dt$
Обобщенная масса — масса $m$ , момент инерции $J$	Индуктивность $L$	Емкость $C$
Количество движения $m\dot{x}$ , момент количества движения $J\dot{\theta}$	Магнитное потокосцепление $\psi$	Заряд $q$
Упругая податливость: линейная $1/c$ , угловая $1/c'$	Емкость $C$	Индуктивность $L$
Коэффициент жесткости: линейный $c$ , угловой $c'$	Обратная величина емкости $1/C$	Обратная величина индуктивности $1/L$
Коэффициент сопротивления $k, k'$	Омическое сопротивление $R$	Омическая проводимость $g$

Использование электрических моделей механических систем целесообразно, так как электрическую цепь построить достаточно легко, в то время как механическую модель не всегда просто. Нужно иметь ввиду, что величины, относящиеся к различным моделям и являющиеся аналогами, имеют различные размерности. Тем не менее, приводя эти величины к



тождественному равенству в двух аналогах, можно оперировать с ними, устанавливая электрические эквиваленты тех или иных механических величин или наоборот – механические эквиваленты электрических величин. Для двух приведенных электромеханических аналогий эти эквиваленты будут различными.

Аналогия действует в тех рамках, которые определены точным сходством уравнений одного и другого процесса, в данном случае механического и электрического. В этом отношении любая из моделей-аналогов играет роль некоторого счетно-решающего устройства. Следует обратить внимание, что электрическая модель, воспроизводя механическую систему, повторяет ту самую идеализацию (или схематизацию), которая отражена в механической системе, и не больше.

В качестве примера представления электро-механических элементов конструкции тренажера рассмотрим последовательные соединения динамических звеньев.

### **8.5 Представление электромеханических элементов конструкции спортивных тренажеров в виде последовательного соединения динамических звеньев**

Электрические двигатели, как основа сервопривода, широко применяются в практике спортивного приборостроения. К примеру, если движущееся полотно тредбана – это элемент взаимодействия тредбана со спортсменом, то электродвигатель, приводящий в движение это полотно, является исполнительным элементом. Учитывая это, особое внимание уделяется оптимальному выбору исполнительного элемента из множества различных модификаций двигателей постоянного тока с независимым возбуждением и двух-, трехфазных асинхронных двигателей (рисунок 8.12, А, Б). Зная входные и выходные величины нужных электрических машин и проанализировав, по известным параметрам, передаточные функции динамических звеньев образующих эти машины, можно выбрать из множества – нужную электрическую машину.

Электродвигатели с независимым возбуждением управляются со стороны якоря (рисунок 8.12, А). Здесь надо учитывать, что большинство двигателей имеют небольшую зону нечувствительности, которая определяется напряжением трогания с места, т. е. минимальным напряжением подводимым к двигателю, чтобы его якорь тронулся. Управление со стороны обмотки возбуждения затруднительно вследствие большой инерционности магнитного поля этой обмотки. Для эффективного управления двигателем требуются сигналы значительной мощности.

Применительно к спортивной практике, если в исполнительном элементе тренажера функционирует, например, двигатель постоянного тока, с

номинальной мощностью не превышающей 1,5 кВт, мощность управляющего им сигнала должна быть не ниже 70÷80% от номинала мощности самого двигателя.

Это указывает на необходимость использования достаточно мощных преобразователей управляющих сигналов, несмотря на то, что мощности электродвигателей выше приведенного номинала в 1,5 кВт, в практике создания спортивной техники не применяются.

В маломощных исполнительных системах эффективно работают двухфазные асинхронные двигатели (рисунок 8.12, Б). Они имеют малую зону нечувствительности и обеспечивают удобство согласования с питающими их усилителями переменного тока.

Входным сигналом для электродвигателей (рисунок 8.12, А, Б) является напряжение  $U_{вх}(t)$ , отражающее особенности двигательных действия спортсмена, выходным – угол поворота вала якоря. Скорость вращения якоря двигателя в установившемся режиме пропорциональна входному напряжению. Если питающее (управляющее) изменяется медленно, то инерцией якоря можно пренебречь.

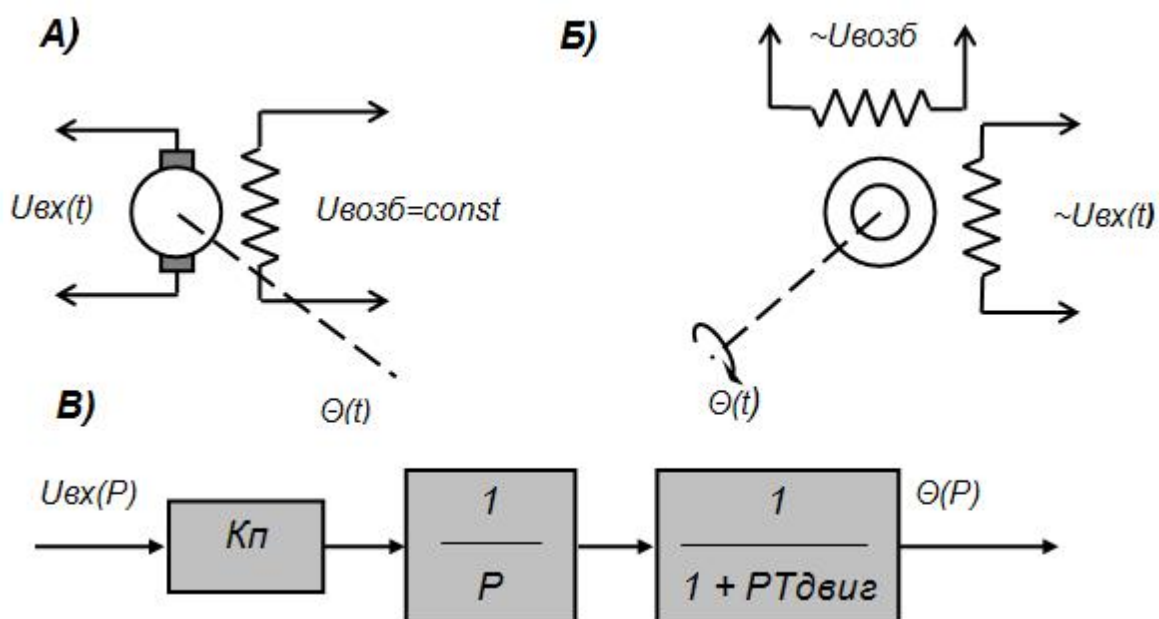


Рисунок 8.12 Электрический двигатель как исполнительный элемент спортивной техники  
А – с управлением по цепи якоря; Б – с управлением по цепи возбуждения; В – операторная форма эквивалентной схемы электрического двигателя, в виде совокупности динамических звеньев.

Угловая скорость вращения является первой производной угла поворота якоря:

$$\frac{d\Theta}{dt} = KnUBx(t)$$

или в операторной форме:

$$p\Theta(p) = KnUBx(p)$$

Отсюда передаточная функция электродвигателя:

$$K(p) = \frac{\Theta(p)}{UBx(p)} = \frac{Kn}{p}$$

Следовательно, в данном случае двигатель ведет себя как система, состоящая из пропорционального динамического элемента (звена), имеющего  $Kn$ , и –интегрирующего звена с  $1/p$ .

Однако в реальности, при использовании двигателей в механических исполнительных системах входные сигналы изменяются достаточно быстро, поэтому приходится считаться с инерцией двигателя. При резком изменении питающего напряжения двигатель сравнительно плавно изменяет число оборотов, реагируя на входной сигнал подобно инерционному звену. С учетом этого явления, двигатель, в эквиваленте рисунок 8.12, В, можно рассматривать через последовательное соединение пропорционального, инерционного и интегрирующего звеньев. Тогда полная передаточная функция электродвигателя, как основного механизма исполнительного элемента тренажерной системы будет равна:

$$K_{двиг}(p) = \frac{Kn}{p(1 + pT_{двиг})}$$

Постоянная времени двигателя  $T_{двиг}$  определяется, в первую очередь, его конструктивными особенностями, материалами из которых он изготовлен и технологией изготовления.

Управление движениями человека с внешней среды, мало отличается от процесса управления техническими объектами в промышленности или на транспорте. Поэтому, в обоих случаях, требования к исполнительным элементам носят общий характер и определяются характеристиками объекта регулирования и требуемым качеством процесса регулирования.

Являясь, как и электродвигатель (рисунок 8.13) электрической машиной, генератор напряжения, в качестве тахогенератора (датчика), отслеживает скорость движения полотна тредбана. Здесь входным сигналом тахогенератора является угол поворота вала якоря  $\theta(t)$ , а выходным  $U_{вых}(t)$ .

Тогда это напряжение пропорционально скорости вращения ротора и является первой производной угла поворота вала якоря:

$$U_{вы}(t) = K_n \frac{d\Theta}{dt}$$

В операторной форме записи:

$$U_{вы}(p) = K_n p \Theta(p)$$

отсюда передаточная функция тахогенератора:

$$K_n(p) = \frac{p U_{вх}(p)}{\Theta(p)} = K_n p$$

Из полученного выражения видно, что тахогенератор может быть представлен в виде соединения двух элементарных динамических звеньев: пропорционального и дифференцирующего, т. е. тахогенератор осуществляет пропорциональное дифференцирование.

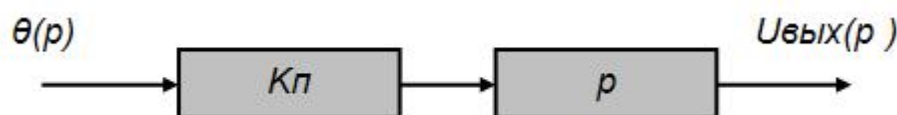


Рисунок 8.13 Функциональная схема тахогенератора, выраженная в операторной форме

Устройство и работа других датчиков не требует особых пояснений. Следует обратить только внимание на использование, в них или совместно с ними, различных передач, посредством которых осуществляется трансформация величин и характер перемещений. При соответствующем выборе передач перемещение может быть, как уменьшено, так и увеличено. При этом следует обратить внимание на люфты в элементах передач, которые должны быть сведены к минимуму, поскольку они являются источниками погрешности измерения.

### Вопросы для самопроверки

1. Что представляет собой система «спортсмен-тренер-тренажер».
2. Из каких элементов состоит «спортсмен-тренер-тренажер».
3. Каким образом взаимосвязаны элементы системы «спортсмен-тренер-тренажер».
4. В чем состоят особенности разомкнутой системы автоматического регулирования.
5. В чем состоят особенности замкнутой системы автоматического регулирования.
6. По каким признакам классифицируются системы автоматического

регулирования.

7. Какие элементы входят в состав систем автоматического регулирования.

8. Перечислить элементарные звенья системы автоматического регулирования.

9. Что такое передаточная функция элементарного звена системы автоматического регулирования.

10. Что такое оригинал и изображение передаточной функции.

11. Что такое оператор  $p$  и в чем заключается его сущность.

12. Записать в операторной форме передаточную функцию безынерционного звена.

13. Записать в операторной форме передаточную функцию дифференцирующего звена.

14. Записать в операторной форме передаточную функцию интегрирующего звена.

15. Записать в операторной форме передаточную функцию форсирующего звена.

16. В чем заключаются особенности передаточной функции форсирующего звена.

17. Записать в операторной форме передаточную функцию колебательного звена.

18. В чем заключаются особенности передаточной функции колебательного звена.

19. В чем заключаются особенности передаточной функции последовательной цепочки элементарных звеньев.

20. В чем заключаются особенности передаточной функции параллельно соединенных элементарных звеньев.

21. В чем заключаются особенности передаточной функции элементарных звеньев соединенных цепью обратной связи.

22. Схематично изобразить механическую колебательную систему.

23. Нарисовать схему электрического колебательного контура.

24. Что такое и для чего пользуются электромеханическими аналогами.

## Литература

1. Диментберг, Ф.М. Вибрация в технике и человек / Ф.М. Диментберг, К.В. Фролов – М.: Знание, 1987. – 160 с.

2. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.

3. Левит, Н.Б. Автоматика / Н.Б. Левит, В.К. Подгайный. – Москва: Военное издательство министерства обороны СССР, 1964. – 400 с.

4. Логинов, В.Н. Электрические измерения механических величин / В.Н. Логинов. – М.: Энергия, 1976. – 104 с., ил.

5. Юшкевич, Т.П. Тренажеры в спорте / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, В.А. Буланов; под ред. Т.П. Юшкевича. – М.: Физкультура и Спорт, 1989. – 320 с.

## **Тема 9. Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и оздоровительной физической культуре**

### **9.1. Предпосылки применения устройств для стимуляции биологической активности человека**

Человек, с учетом того, что его мышечная система обладает массой и упругостью, является своеобразной колебательной системой. При взаимодействии человека с внешней средой механические колебания (вибрации) встречаются повсеместно. Их роль имеет двоякий характер. В одних случаях вибрации вредны. В других случаях – полезны и даже жизненно необходимы, как, например, тремор мышц или другие физиологические процессы в организме человека.

Научившись управлять вибрацией, человек получил возможность использовать ее влияние на стимуляцию процессов совершенствования своих функциональных возможностей и двигательных способностей. Одним из эффективных выразителей потребительских свойств спортивной техники является физическое упражнение с колебательной активацией мышц. С точки зрения биомеханики – это биомеханическая стимуляция мышечной деятельности (БМС).

Физические упражнения с колебательной активацией мышц выполняются при помощи специальных устройств, которые через элементы взаимодействия со спортсменом заставляют мышцы колебаться с определенной частотой и амплитудой. Амплитудное значение таких колебаний для крупных и средних мышц составляет  $4,0 \pm 0,1$  мм с частотой колебаний в  $16 \div 30$  Гц. Биомеханическая стимуляция осуществляется путем воздействия на мышцы спортсмена механическими факторами, в частности вибрацией, в результате чего получают психофизиологические эффекты, создающие различные способы тренировки мышц.

При биомеханической стимуляции вибрация вводит в колебательное состояние такие составляющие звеньев, как мышечная ткань (ее упругие и сократительные элементы), механорецепторы, сосудистую систему. Такое колебательное состояние возникает при периодическом перемещении точек соприкосновения звена спортсмена с приспособлением (например, опорной площадки для рук), колеблющемся с определенной частотой и амплитудой. Причем вектор, отражающий перемещение точек такого приспособления, должен быть направлен вдоль мышечных волокон стимулируемой мышцы. Если этот вектор совпадает с направлением укорочения мышцы, то ее мышечная ткань испытывает ускорение, если вектор изменяет свое направление на противоположное – на мышечную ткань действует замедление. Само же перемещение приспособления в одной полувогне

растягивает мышечную ткань, в другой – сжимает. Если ускорения, действующие на механорецепторы звеньев, активируют нервно-физиологические процессы, то перемещения, в данном случае опорной площадки, чередуя фазы сжатия и растяжения кровеносных сосудов и в первую очередь мелких сосудов, усиливают кровоток в тренируемой мышце. При выполнении физических упражнений с использованием вибрации, тренируемая мышца может работать как в статическом, так и в динамическом режиме, а также при различных режимах мышечных сокращений.

В естественной среде, тренируемая мышца входит в колебательный режим только в момент предельного напряжения. Это видно на примере штангиста удерживающего поднятую штангу, когда мышцы его плечевого пояса начинают дрожать. При биомеханической стимуляции подобное дрожание начинается уже при малых и средних напряжениях мышц. Таким образом биомеханическая стимуляция, или же физическое упражнение с колебательной активацией мышц, позволяет более эффективно использовать естественный механизм спортивной тренировки, когда при малых затратах волевых усилий и меньших мышечных напряжениях, достижение предельной нагрузки восполняется источниками внешней механической энергии.

## **9.2. Конструктивные особенности устройств для колебательной активации мышц**

Устройства для создания упражнений с колебательной активацией мышц, обладающие указанными требованиями, должны состоять из определенного набора функциональных элементов.

В первую очередь, к таким элементам следует отнести специализированную к конкретному спортивному движению опорную поверхность (в дальнейшем называемую вибротодом). Вибротод выполняет функции элемента взаимодействия спортсмена с устройством и приводит к колебательное движение, через преобразователь вида механического движения посредством приводного механизма.

В известных конструкциях преобразователь вида движения преобразует механическое движение  $X$  приводного устройства в незатухающее колебательное движение с заданной частотой  $\omega$  и амплитудой  $A$ .

Приводной механизм выполняет функции исполнительного элемента. В преобладающем большинстве, в качестве исполнительного элемента используется электропривод, основой которого могут быть электродвигатели различных модификаций. Параметры нужных электродвигателей определяются, исходя из массы частей тела спортсмена, контактирующего с опорной площадкой (вибротодом), и вращающим моментом выходного вала  $M_v$  электродвигателя, необходимым для создания устойчивых незатухающих механических колебаний с угловой частотой  $\omega$ , определяющей режим передачи данного динамического звена. В качестве исполнительного



элемента тренажера могут быть использованы магнитные жидкости, а также различные механические элементы, например, гидравлические или пневматические, что наиболее удобно, когда мышцы спортсмена работают в динамическом режиме.

Если элемент взаимодействия спортсмена с устройством определяется особенностями вида спорта и двигательного действия, а исполнительный элемент – энергетикой и параметрами выходных механических колебаний, то преобразователь вида движения в большей мере определяет конструктивные особенности устройства в целом.

Преобразователь вида движения – механическое приспособление, которое может быть выполнено на основе:

- кривошипно-ползунного или кривошипно-шатунного механизма;
- кулисного механизма;
- кулачкового механизма;

- вращающегося тела, когда центр вращения Ц.М. тела с массой  $m$  не совпадает с центром вращения этого тела на величину  $\Delta r$ .

Кинематическая схема устройства, конструктивной особенностью которого является шарнирный четырехзвенник в виде кривошипно-шатунного механизма, приведена на рисунке 9.1.

Здесь кривошип, приводимый в движение исполнительным элементом, совершает законченное циклическое движение и передает его на шатун. Последний заканчивается коромыслом в виде вибротода, передающего механические колебания на мышцы тренирующегося спортсмена. Сам исполнительный элемент должен обладать мощностью достаточной, чтобы ввести в колебательное состояние самые массивные звенья спортсменов.

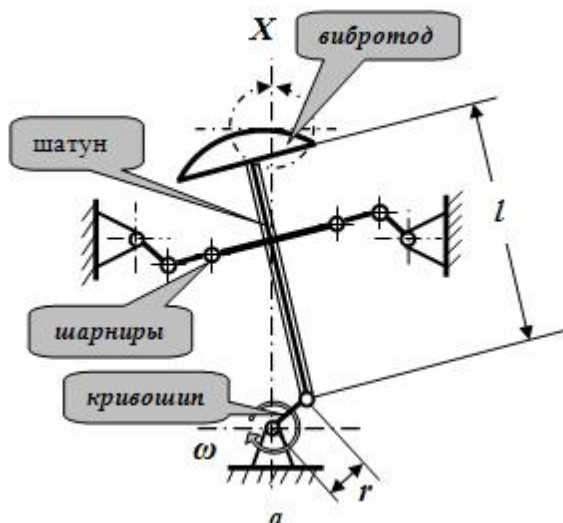


Рисунок 9.1 Кинематическая схема устройства для упражнений с колебательной активацией мышц нижних конечностей и туловища

На практике, используются преимущественно центральные кривошипно-ползунные или кривошипно-шатунные механизмы, у которых ось  $a$  проходит через ось вращения кривошипа. Тогда у такого механизма ход ползуна или амплитуда качания коромысла равна двум радиусам кривошипа:

$$H = 2r.$$

С точки зрения уменьшения габаритов устройства с кривошипно-шатунным механизмом длину шатуна желательно делать малой. Однако при этом возрастает угол давления. Чтобы он не

превысил допустимой величины, необходимо соблюдение неравенства

$$\frac{r}{l} \leq \sin \delta_{\max}$$

где

$r$  – радиус кривошипа;

$l$  – длина шатуна;

$\delta_{\max}$  – угол между шатуном и осью  $a$ .

На практике, соотношение  $r/l$  рекомендуется выбирать в пределах  $1/3 \div 1/5$ .

Конструктивные особенности устройства для упражнений с локальной колебательной активацией мелких мышечных групп обусловлены кулисным механизмом (рисунок 9.2).

Здесь крайние положения ведомого звена – кулисы – задают угол поворота вибротода, где последний выполнен в виде вибрирующего валика. Если в устройстве, показанном на рисунке 9.1 вибротодом, являются специфические опорные площадки, то в устройстве, изображенном на рисунке 9.2, вибрирующий вибротод прикладывается к тренируемой мышце. Исполнительному элементу данного тренажера не требуется мощных электроприводов. Устойчивые незатухающие механические колебания на тренируемой мышце, можно создать электродвигателями мощностью не превышающей нескольких десятков ватт.

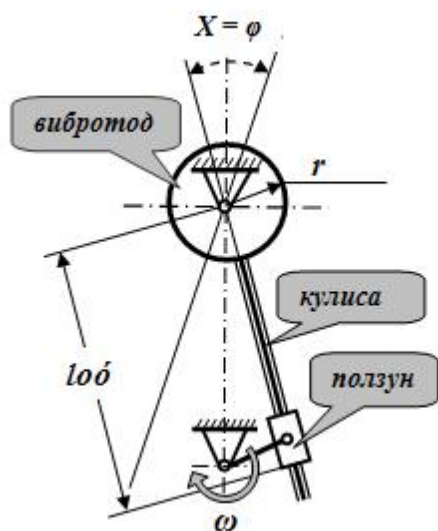


Рисунок 9.2 Кинематическая схема устройства для упражнений с колебательной активацией для мелких мышечных групп

При проектировании кулисного устройства для упражнений с колебательной активацией мелких групп мышц следует учитывать заданный ход (угол размаха  $\varphi$ ) ведомого звена – кулисы. На рисунке 9.2 показаны крайние положения кулисы, угол между которыми равен требуемому углу размаха  $\varphi$ . Кулиса в своих крайних положениях расположена по касательной к окружности радиусом  $r$  ( $r$  – радиус кривошипа). Поэтому отношение радиуса кривошипа к длине кулисы  $l_{00}$  равно:

$$\frac{r}{l_{00}} = \sin \frac{\varphi}{2}$$

По заданному углу размаха легко вычислить отношение размеров  $r$  и  $l_{00}$ .

Если угол размаха  $\varphi$  постоянен, то путь  $X$ , который проходит любая точка на поверхности вибротода, зависит от его радиуса. Обычно путь  $X$  составляет  $3 \div 6$  мм. При этом следует учитывать, что с целью увеличения

пути  $X$ , при неизменном  $\varphi$ , нужно увеличивать радиус вибротода. А это, в свою очередь, делает необходимым увеличивать мощность электропривода, что нежелательно, если считать такие устройства с использованием кулисы – портативными. К мелким группам мышц относятся прежде всего мимические мышцы, мышцы головы, шеи, мышца сгибатели и разгибатели пальцев рук и ног.

### 9.3. Устройства с колебательной активацией мышц, участвующие в перемещении предметов в пространстве

Для воздействия на более крупные группы мышц, например, плечевого пояса, целесообразно иметь устройства с несколько иной конструкцией, с помощью которых можно воздействовать механическими колебаниями на мышцы звеньев, участвующих в перемещении предметов в пространстве, например, различных спортивных снарядов, масс тел в единоборствах (партнер или противник) и пр.

Наиболее подходящими в этих целях могут быть кулачковые механизмы (рисунок 9.3)

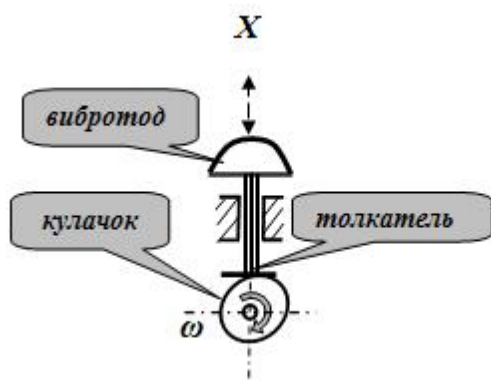


Рисунок 9.3 Кинематические схемы устройств с колебательной активацией мышц, включающих кулачковые механизмы

Такие механизмы достаточно просты и компактны. И, как в случае с использованием кулисных механизмов, появляется возможность не связывать тренажер с жесткой опорой и выполнять двигательные действия при минимальном ограничении степеней свободы тренируемых звеньев.

Простейший кулачковый механизм состоит из ведущего звена, элемент которого имеет переменную кривизну, – кулачка, совершающего вращательное движение с частотой  $\omega$ , и ведомого звена – толкателя, совершающего возвратно-поступательное движение. При определении конструкции кулачкового механизма главным является выбор закона движения толкателя  $X$  по кривизне рабочей поверхности кулачка, где  $x = f(\varphi)$ , а  $\varphi$  – угол поворота кулачка. Эта кривизна характеризует профиль кулачка, продиктованного особенностями механического воздействия на тренируемые мышцы. В зависимости от профиля движение толкателя на один полный оборот кулачка имеет четыре фазы.

1. Фаза удаления (подъема) толкателя на высоту  $h_{max}$  (или поворота на угол размаха  $\psi_{max}$ , если толкатель вращающийся). Длительность фазы определяется временем поворота  $t_{\psi}$  кулачка на угол  $\varphi$ .

2. Фаза верхнего стояния толкателя, когда он достигает состояния покоя в верхнем положении. Эта фаза происходит за время поворота  $t_{\psi}$

кулачка на угол  $\varphi_в$ .

3. Фаза возвращения толкателя в исходное положение Это происходит за время поворота  $t_n$  кулачка на угол  $\varphi_n$ .

4. Фаза нижнего стояния, когда толкатель находится в покое в нижнем положении. Эта фаза происходит за время поворота  $t_{н.с}$  кулачка на угол  $\varphi_{н.с}$

Так как все фазы происходят за один поворот кулачка, то сумма углов всех фаз равна  $360^\circ$  или  $2\pi$  радиан.

Если движение толкателя, на котором смонтирован вибротод, (рисунок 9.3) непрерывно, то время поворота  $t_n$  кулачка на угол  $\varphi_n$  и время поворота  $t_{н.с}$  кулачка на угол  $\varphi_{н.с}$  стремятся к нулевому значению. Так как все фазы проходят за один поворот кулачка, тогда:

$$\varphi_u + \varphi_{н.с} = 2\pi (360^\circ),$$

а сумма времени всех фаз равна периоду одного оборота кулачка  $T$ :

$$t_u + t_{н.с} = T$$

Ход толкателя  $h_{\max}$  (или размах толкателя  $\psi_{\max}$ ), а также отрезки времени движения всех фаз толкателя и соответствующие углы поворота кулачка полностью определяются той операцией, которую должен выполнять кулачковый механизм. В нашем случае это движение, максимально стимулирующее биологические процессы в мышечной ткани тренируемой мышцы.

Для мышечной ткани предпочтительнее использовать движение толкателя и соответственно вибротода, изменяющееся по синусоидальному закону. В этом случае скорость и ускорение изменяются плавно и свое изменение начинают и оканчивают нулевыми значениями при полном отсутствии рывков и ударов.

#### **9.4. Устройства, основанные на эффекте вращающегося тела со смещенными центрами вращения и массы**

Если в устройствах, основанных на предыдущих механизмах, к тренируемым мышцам передавалось периодическое механическое перемещение вибротода, вынуждающее вибрировать тренируемую мышечную ткань, то существует возможность сделать подобное и периодически изменяющимся усилием, которому будет противостоять тренируемая мышца. Такая возможность наиболее реализуема в легкоатлетических метательных упражнениях, а также в упражнениях с мячом в спортивных играх, с применением устройств, основанных на эффекте вращающегося массивного тела со смещенными центрами вращения и массы.

На рисунке 9.4 изображена кинематическая схема спортивного снаряда (баскетбольный мяч, легкоатлетическое ядро) с вращающимся телом,

вмонтированным в его полость.

Здесь способом создания упражнений с колебательной активацией мышц является использование сил инерции массы тела, вращающегося вокруг своей оси. Активизируют мышечную систему тренируемого звена циркуляционные нагрузки, возникающие при определенных условиях на опорах этого тела (рисунок 9.4).

При вращении тела в виде ротора, у которого центр массы *Ц.М.* лежит на оси центра вращения *Ц.В.* (уравновешенное состояние), главный вектор  $\bar{F}_u$  и главный момент сил инерции  $\bar{M}_u$  равны нулю в любой момент движения:

$$\bar{F}_u = 0 ; \quad \bar{M}_u = 0$$

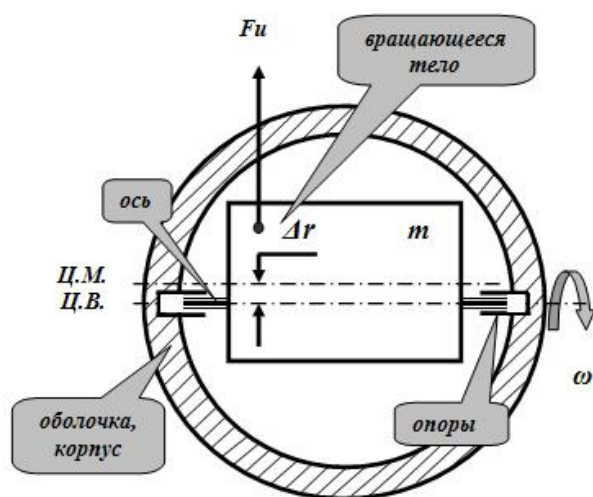


Рисунок 9.4 Спортивный снаряд с массивным телом, вращающимся в его полости

Для того чтобы на опорах оси вращения такого ротора возникли усилия циркуляционного характера, необходимо вывести эту вращающуюся систему из уравновешенного состояния. Это произойдет, если центр массы ротора сместить относительно оси вращения на расстояние *rs* (рисунок 9.5) (состояние статической неуравновешенности).

За меру статической неуравновешенности или статического дисбаланса

принимают статический момент массы тела относительно оси вращения:  $\Delta = mrs$ . Такая неуравновешенность называется статической, так как она обнаруживается статическим испытанием. С этой целью ось ротора устанавливают на два горизонтальных призматических ножа. Если центр массы расположен на оси ротора, то ротор будет находиться в равновесии при любом положении, в противном случае ротор будет двигаться, пока не займет положения устойчивого равновесия, при котором центр массы имеет наинижнее расположение.

Влияние статической неуравновешенности иллюстрируется числовым примером: пусть масса ротора  $m = 0,2$  кг (сила тяжести  $\sim 2$  Н) соизмерима с массой спортивного снаряда, например баскетбольного мяча. Опоры оси вращения ротора вмонтированы неподвижно внутри корпуса мяча, постоянная угловая скорость  $188,4$  рад/с (частота вращения двигателя  $1800$  об/мин). Смещение центра массы от оси вращения составляет  $rs = 0,002$  м.

Тогда модуль силы инерции на опорах ротора и на корпусе мяча, соответственно, равен:  $Fu = \Delta\omega^2 = 2 \cdot 0,002 \cdot 35494,5 = 142 \text{ Н}$ . С учетом противодействующей силы инерции массы звена баскетболиста, силы инерции ротора величиной в 142 Н вполне достаточно, чтобы ввести в колебательное состояние такое звено.

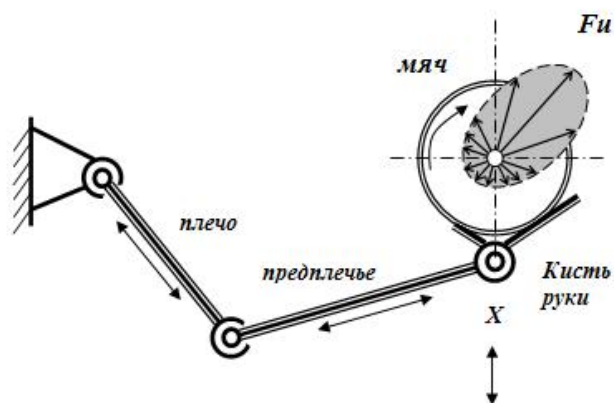


Рисунок 9.5 Кинематическая схема звена устройства со спортивным снарядом, используемого в упражнениях с колебательной активацией мышц

Основными требованиями создания упражнений с колебательной активацией мышц, при использовании механизмов с вращающимися телами определенной массы, являются:

- силы инерции на опорах вращающегося ротора (должны превышать суммарный момент сил упругости и сил инерции звена со спортивным снарядом);
- вектор силы инерции на опорах вращающегося ротора

(должен быть направлен вдоль мышечных волокон мышц, приводящих в действие тренируемое звено (Назаров В.Т., Михеев А.А.)

### 9.5. Эффекты, возникающие при выполнении физических упражнений с колебательной активацией мышц

Все функции движения осуществляются скелетными мышцами, побуждаемыми к действию импульсами, приходящими к ним по нервной ткани. В ответ на любое раздражение в нерве возникнет нервный импульс, что приведет к сокращению данной мышцы. Возбудимость различных клеток неодинакова. Она выше у тех из них, которые специализировались к восприятию воздействия среды (рецепторы), к передаче сигналов в другие системы (нервные клетки с их отростками) и к быстрому реагированию на воздействие (мышечные клетки). Но возбудимость одних и тех же клеток не остается постоянной. Она изменяется под влиянием различных условий, например, в результате утомления. Между тем уровень возбудимости имеет большое значение для деятельности клеток и всего организма в целом, Так, от уровня возбудимости центральной нервной системы и двигательного аппарата в значительной мере зависит успех различных спортивных упражнений. Величина возбудимости – важнейшая характеристика функционального состояния тканей. Различные факторы внешней и внутренней среды вызывают возбуждение лишь в том случае, если они имеют необходимую для этого силу и длительность.

Минимальная сила раздражения, которая необходима чтобы вызвать

возбуждение в ткани, характеризует так называемый порог возбуждения данной ткани и называется пороговой силой. Чем выше порог возбудимости, т.е. чем больше пороговая сила раздражающего тока, тем ниже возбудимость ткани. Для возникновения возбуждения решающее значение имеет сила раздражения. Чем выше раздражение, тем интенсивнее развиваются подпороговые изменения в ткани. Не меньшее значение имеет и время действия раздражителя. Между этими двумя факторами – силой раздражения и его длительностью – существуют закономерные соотношения. Чем больше сила раздражения, тем интенсивнее подпороговые изменения, тем скорее они достигнут порогового уровня и тем меньшая потребует для этого продолжительность раздражения. И наоборот, чем длительнее раздражение, тем при меньшей его силе подпороговые изменения могут достичь пороговой величины.

В зависимости от свойств тканей абсолютные величины длительности и силы раздражений для разных образований различны. Для выяснения свойств живой ткани существует две основные величины раздражения, характеризующие эту ткань – это реобазы и хронаксия. Здесь, реобазой считается наименьшая сила тока или наименьшее напряжение, которые необходимы, чтобы при неограниченном времени воздействия вызвать реакцию ткани. По величине реобазы судят о возбудимости различных тканей организма. Чем меньше реобазы, тем более возбудима ткань.

Хронаксией следует считать наименьшее время, в течение которого необходимо воздействовать на ткань током равным удвоенной реобазе, чтобы вызвать минимальную реакцию этой ткани. По величине хронаксии можно судить о скорости возникновения возбуждения в тканях. Чем меньше хронаксия, тем быстрее протекают подпороговые изменения в ткани, и тем быстрее возникает волна возбуждения.

Реобазы и хронаксия являются важными показателями функционального состояния тканей – их возбудимости и функциональной подвижности.

Функциональная подвижность (лабильность) характеризует скорость протекания процессов возбуждения в различных тканях. От функциональной подвижности живой ткани зависит ее способность отвечать на раздражения без трансформации ритма. Чем выше функциональная подвижность волокна, тем быстрее разветвляются и заканчиваются в ней процессы возбуждения (тем короче его хронаксия), тем меньше длительность его потенциалов действия и короче абсолютная и относительная рефрактерные фазы. Чем выше функциональная подвижность, тем большее количество волн возбуждения может возникнуть в единицу времени.

Величина функциональной подвижности не является абсолютно постоянной. Повышение лабильности может привести к тому, что недоступные ранее ритмы деятельности станут доступными, т.е. произойдет «усвоение ритма» и управление ритмом, зависящее от уровня межмышечной

координации.

Внешние механические колебания (вибрации), при условии, что волна этих колебаний распространяется вдоль мышечных волокон, заставляют сеть кровеносных сосудов, проходящих через мышечную ткань, изменять свою длину. При этом, положительная полуволна увеличивает длину сосуда, уменьшая его просвет, а следующая за ней отрицательная полуволна – уменьшает длину сосуда, увеличивая просвет. В результате подобных деформаций сосудов мышца будет работать как насос и кровь отдельными порциями станет перекачиваться со стороны артерии к вене. Чем чаще и больше амплитуда деформации, тем интенсивней однонаправленный ток крови. Подобные деформации не должны быть обязательно большими, чтобы достичь насосного эффекта, а только соизмеримыми величине просвета (сечения) кровеносных сосудов мышцы.

Чтобы стимулировать деформацию сосудов и соответственно ток крови, достаточно подвести к сухожилиям тренируемой мышцы нагрузку в виде колебательного воздействия (вибрации), с ранее указанными параметрами. В этом случае волна механических колебаний будет направлена вдоль мышечных волокон мышцы. Однако, чтобы мышца была в состоянии откликнуться на вибрацию и произошла нужная деформация сосудов, необходимо согласовать частоту внешних механических колебаний с упругостью (жесткостью) мышцы. Известно, что жесткие, упругие тела колеблются с более высокой частотой. Струна, если ее подтянуть, издаст более высокий тон (это ее частота собственных колебаний  $\omega_0$ ), так и мышца будет деформироваться под воздействием большей амплитуды. Когда частота вибрационных воздействий совпадет с собственной частотой самой мышцы, возникнет некоторое приближение к резонансному явлению в мышечной ткани. Жесткость мышцы можно регулировать путем чередования ее активного напряжения и расслабления, или просто растягивая мышцу за счет внешних сил, усиливая при этом кровоток через ее ткани, особенно через капиллярную сеть (микроциркуляция крови).

Используя средства для биомеханической стимуляции мышечной деятельности необходимо знать эффект такого воздействия. Эффект этого воздействия, в первую очередь, проявляется в повышении скоростно-силовой подготовленности спортсмена, его специальной выносливости, суставной подвижности.

Для оценки влияния биомеханической стимуляции на скоростно-силовую подготовленность спортсмена, используется метод Ю.В. Верхошанского, основанный на следующих показателях, где:

$F_{\max}$  – максимальное значение проявляемого усилия функции  $F(t)$ ;  $J$  – градиент характеризующий способность спортсмена к проявлению взрывных усилий (*взрывная сила*).

$$J = F_{\max}/t_{\max},$$

где  $t_{\max}$  – время, ограниченное начальным значением функции  $F(t)$  и



максимальным ее значением -  $F_{\max}$ ;

$Q$  – градиент характеризующий *стартовую силу* мышц, или их способность к быстрому наращиванию кинетического эффекта в начале рабочего напряжения.

$$Q = F_p / t_p,$$

где  $F_p$  – значение зависимости  $F(t)$ , соответствующей весу груза  $P$ ,  $t_p$  – время, ограниченное начальным значением функции  $F(t)$  и значением  $t_p$  этой функции, которое соответствует весу груза  $P$ .

$\sigma$  – градиент, характеризующий *ускоряющую силу* мышц, или их способность к быстрому наращиванию их кинетического эффекта во время начала рабочего движения.

$$\sigma = \Delta F / (t_{\max} - t_p),$$

где  $\Delta F$  – значение силы превышающей вес дополнительного груза.

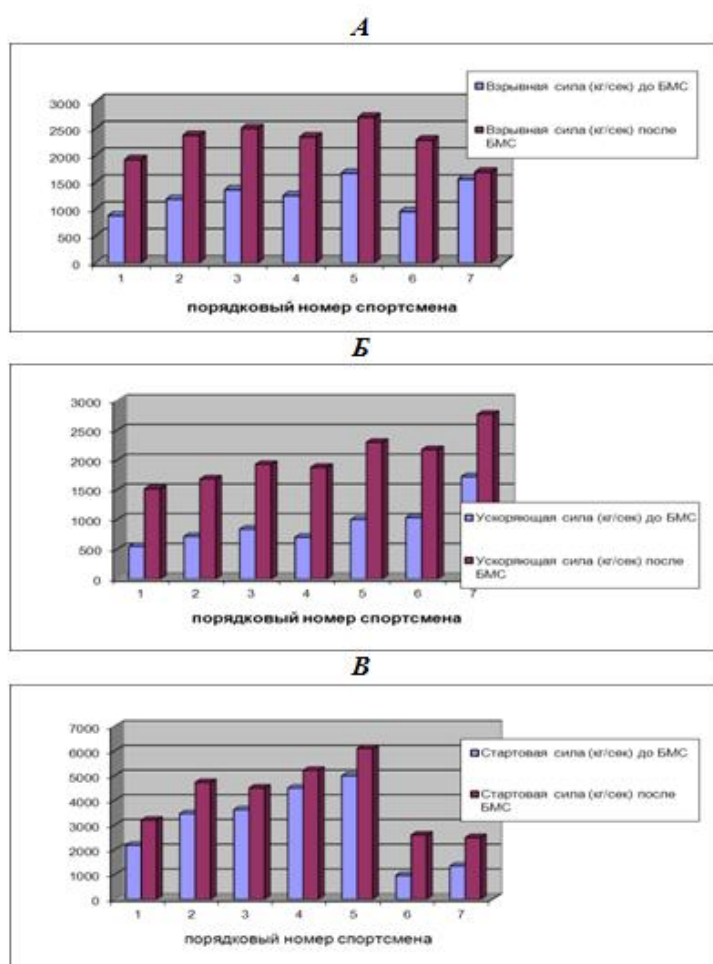


Рисунок 9.6 Изменение скоростно-силовых показателей после 5-ти тренировок у лыжников-гонщиков (n=7), с использованием устройства для биомеханической стимуляции мышц нижних конечностей по методу Назарова В.Т.

А – взрывная сила, Б – ускоряющая сила, В – стартовая сила

Изменение этих показателей в результате использования устройств для биомеханической стимуляции мышц нижних конечностей в тренировке лыжников-гонщиков на коротких дистанциях отражено в виде гистограмм, изображенных на рисунке 9.6.

Здесь для создания физического упражнения глобального характера с колебательной активацией мышц, когда тренировочному воздействию подверглись основные звенья и их мышцы, использовалось устройство, основой которого являлся кривошипно-шатунный механизм.

Рассматривая в отдельности, каждый показатель изображенный на рисунке 9.6, видно, что взрывная сила  $J$  (гистограмма А) возросла на 90%, за счет

увеличения  $F_{\max}$  и уменьшения времени  $t_{\max}$ , затраченного на достижение  $F_{\max}$ .

Ускоряющая сила  $\sigma$  (гистограмма Б) возросла примерно на 119% за счет увеличения  $F_{\text{макс}}$  и уменьшения времени  $t_{\text{макс}}$  и  $tr$ .

Стартовая сила  $Q$  возросла на 38% только за счет уменьшения времени  $tr$ , так как вес дополнительного груза оставался прежним, как и до биомеханической стимуляции и равнялся 30% от максимального. Стартовая сила, обладающая более значительными генетическими детерминантами, подвержена меньшими колебаниями, и увеличение ее на 40% является более значимым. Стартовая сила мышц – контактная величина для данного функционального состояния организма и уровня подготовленности и остается постоянной независимо от величины преодолеваемого сопротивления. Контактный характер стартовой силы мышц при движениях взрывного характера подчеркивается ее малой зависимостью от эмоционального состояния спортсмена. Поэтому, такое увеличение стартовой силы, также как и взрывной и ускоряющей связывается с положительным изменением функционального состояния тканей. Здесь реобаза изменилась с 18В до 9В, хронаксия – с 0,042 м/сек до 0,023. Подобное явление следует рассмотреть более внимательно с точки зрения скоростно-силовых свойств мышц.

С точки зрения физиологии, для скорости движений большое значение имеет подвижность нервных процессов, т.е. быстрая смена в нервных центрах процессов возбуждения торможением и процессов торможения возбуждением. Эта подвижность обуславливает, с одной стороны, быстрое включение мышц в работу, с другой стороны – быстрые переходы друг в друга состояний сокращения и расслабления. Увеличивается также лабильность двигательной системы. Косвенным показателем увеличения подвижности является хронаксия, которая в результате выполнения упражнений со скоростными движениями значительно уменьшается. Но, в отличие от БМС, при обычных (традиционных) методах это процесс достаточно длительный.

Для создания вибрационных воздействий при региональной или локальной биомеханической стимуляции мышечной системы спортсмена, в преобладающем большинстве используется механическая система с кулисой (рисунок 9.2) или кулачковым толкателем (рисунок 9.3).

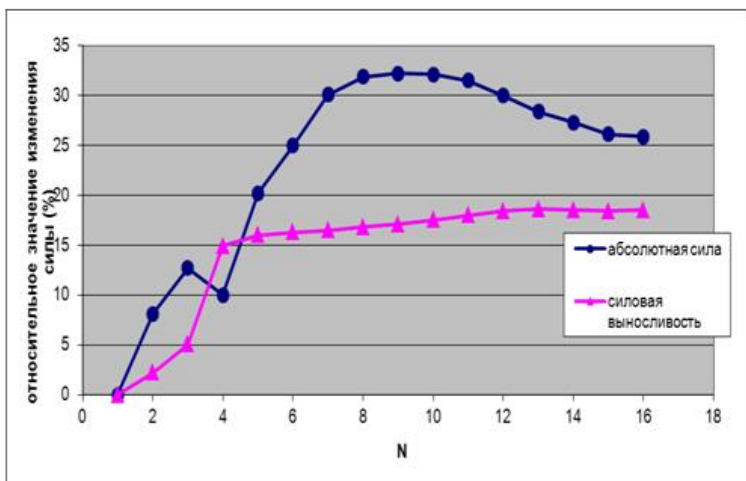


Рисунок 9.7 Изменение абсолютной силы и силовой выносливости мышц кистей руки в положении «захвата» в основной стойке у борцов греко-римского стиля

На вертикальной оси графика, изображенного на рисунке 9.7 нанесены значения относительного изменения силовых показателей силы мышц кистей рук у квалифицированных единоборцев.

На горизонтальной оси того же графика, указаны порядковые номера тренировочных занятий. С первого по восьмое занятие, применялись поочередно

внеплановые статические и динамические тренировочные упражнения с использованием эспандера, оснащенного вибрирующей рукояткой по принципу показанному на рисунке 9.3. С девятого по шестнадцатое занятие, тренировочные упражнения выполнялись в текущем режиме, в соответствии с планом тренировки. В завершении каждого из шестнадцати тренировочных занятий, осуществлялось динамометрирование сжимающего усилия кистей рук каждого единоборца участвующего в эксперименте. На графике рисунка 9.7 следует выделить четвертое и восьмое занятие. В завершении четвертого занятия у спортсменов отмечено значительное снижение абсолютной силы при резком подъеме силовой выносливости.

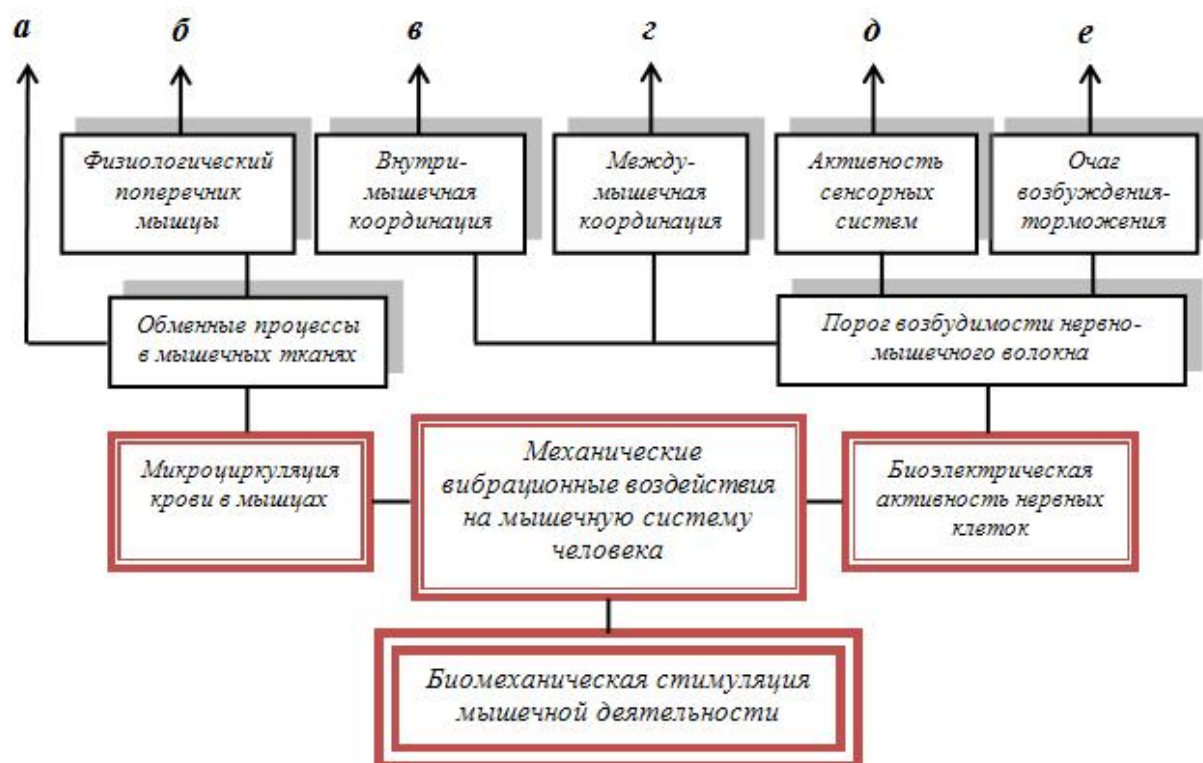


Рисунок 9.8 Физиологические эффекты от избирательного механического вибрационного воздействия на мышечную систему человека

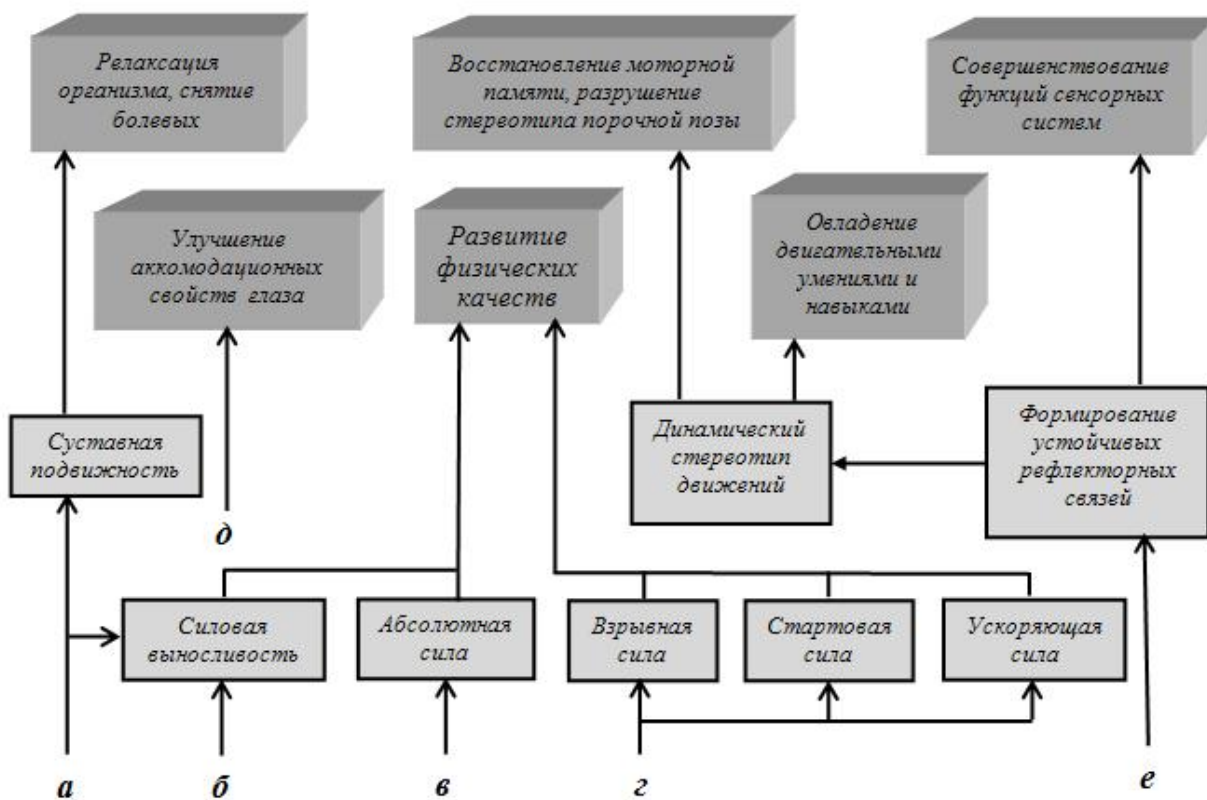


Рисунок 9.9 Педагогические эффекты от избирательного механического вибрационного воздействия на мышечную систему человека

В обобщенном виде взаимосвязь эффектов избирательного механического вибрационного воздействия на мышечную систему человека, в виде взаимосвязанной структуры, показаны на рисунках 9.8 и 9.9.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое физическое упражнение с колебательной активацией мышц.
2. Как создать физическое упражнение с колебательной активацией мышц.
3. Охарактеризовать параметры внешних воздействий, создающих физическое упражнение с колебательной активацией мышц.
4. Охарактеризовать особенности механизмов, с помощью которых создаются физические упражнения с колебательной активацией мышц.
5. Охарактеризовать особенности кривошипно-шатунных механизмов.
6. Охарактеризовать особенности механизмов с кулисой.
7. Охарактеризовать особенности кулачковых механизмов.
8. Охарактеризовать особенности механизмов с телом, движущимся вокруг своего центра вращения.
9. На какие физиологические особенности организма спортсмена воздействуют стимуляция избирательными механическими колебаниями.
10. Каким образом избирательные механические колебания влияют на скоростно-силовые способности спортсмена.
11. Каким образом избирательные механические колебания влияют на силовые проявления спортсмена.
12. Каким образом избирательные механические колебания влияют на силовую выносливость спортсмена.
13. Охарактеризовать общий принцип использования физических упражнений с колебательной активацией в спорте.

### Литература

1. Диментберг, Ф.М. Вибрация в технике и человек / Ф.М. Диментберг, К.В. Фролов. – М.: Знание, 1987. – 160 с.
2. Ильина, Л.В. Хронаксия мышц у спортсменов: Теория и практика физической культуры – №6 /Л.В. Ильина, В.В. Кузьмина, 1961. – 463-466 с.
3. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф. Крайнев. – М. : Машиностроение, 1981. – 438 с., ил.
4. Марголин, Ш.Ф. Теория машин и механизмов / Ш. Ф. Марголин. – Мн.: Вышэйшая школа, 1968. – 356 с., ил.
5. Михеев, А.А. Биологические основы дозированной вибрационной тренировки спортсменов (Монография) / А.А. Михеев. – Минск: БГУФК, 2006. – 240 с., ил.
6. Михеев, А.А. Стимуляция биологической активности как метод управления развитием физических качеств спортсменов / А.А. Михеев. –

Министерство спорта и туризма Республики Беларусь. – Мн.: 1999. – 502 с., ил.

7. Назаров, В.Т. Биомеханическая стимуляция: явь и надежда / В.Т. Назаров – Мн.: Полымя, 1986. – 96 с., ил.

8. Юшкевич, Т.П. Тренажеры в спорте / Т.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, В.А. Буланов; под ред. Т.П. Юшкевича. – М.: Физкультура и Спорт, 1989. – 320 с.

## Примеры тестовых заданий

### Тестовые задания по теме 1 «Технические средства в физической культуре и спорте. Понятия, классификация»

#### ВАРИАНТ 1.1

##### 1. Тренировочное устройство это –

- 1 – устройство для оценки качества спортивных покрытий;
- 2 – устройство для создания дополнительного отягощения двигательным действиям спортсмена;
- 3 – устройство для измерения времени «старт – финиш».

##### 2. Тренировочное приспособление это –

- 1 – легкоатлетическое ядро с вмонтированным в него датчиком ускорения;
- 2 – устройство для имитации соревновательных движений спортсмена;
- 3 – приспособление для измерения длины прыжка с разбега.

##### 3. Система информационной обратной связи это –

- 1 – среднее значение силовых проявлений в серии прыжков в высоту с места, за определенный промежуток времени, отраженное на экране дисплея;
- 2 – электрическая цепь соединяющая тахогенератор с преобразователем мощности, управляющим нагрузочным элементом в виде электродвигателя;
- 3 – обратная связь в операционном усилителе.

##### 1. Физическая подготовка спортсмена это –

- 1 - освоение и совершенствование технических умений и навыков в избранном виде двигательной деятельности;
- 2 - педагогический процесс, направленный на совершенствования функциональных и двигательных способностей в избранном виде двигательной деятельности;
- 3 - педагогический процесс, направленный на освоение и совершенствование технических умений и навыков в избранном виде двигательной деятельности.

##### 2. Техническая подготовка спортсмена это –

- 1 - педагогический процесс, направленный на совершенствование функциональных и двигательных способностей в избранном виде двигательной деятельности;
- 2 - педагогический процесс, направленный на овладение рациональными формами выполнения соревновательных упражнений;
- 3 - педагогический процесс, направленный на освоение и совершенствование технических умений и навыков в избранном виде двигательной деятельности.

##### 6. Форма физических упражнений это –

- 1 – пространственно-временная биомеханическая структура двигательного действия;
- 2 – ответное на раздражитель двигательное действие;
- 3 – величина максимального потребления кислорода при выполнении бегового упражнения.

**7. Содержание физических упражнений это –**

- 1 - спидометрия выполняемого упражнения;
- 2 - физиологические процессы, разворачивающиеся в организме спортсмена во время выполнения физического упражнения;
- 3 - темповая характеристика выполнения физического упражнения.

**8. Характер воздействия на организм спортсмена 1-но минутного удержания тела в висе на согнутых руках, при ЧСС в 160-170 ударов в минуту:**

- 1 - региональный;
- 2 - локальный;
- 3 - глобальный.

**9. Характер воздействия на организм спортсмена 1-но минутного удержания кистью руки эспандера, с усилием 70% от максимально:**

- 1 - региональный;
- 2 - локальный;
- 3 - глобальный.

**10. Характер воздействия на организм спортсмена 3-х минутного бега на тредбане, при ЧСС в 170 ударов в минуту:**

- 1 - региональный;
- 2 - локальный;
- 3 - глобальный.

**Тестовые задания по теме 2 «Основные свойства спортивной техники»****ВАРИАНТ 2.1****1. Потребительские свойства спортивной техники и их влияние на процесс спортивной тренировки:**

- 1 - определяют нагрузочные характеристики спортивной техники;
- 2 - реализуют основные цели и задачи спортивной тренировки;
- 3 - отражают режимы работы исполнительных элементов спортивной техники.

**2. Методические свойства спортивной техники и их влияние на процесс спортивной тренировки:**

- 1 - определяют, объем и интенсивность спортивной тренировки;
- 2 - определяют уровень подготовленности спортсменов;
- 3 - определяют место проведения учебно-тренировочных мероприятий.

**3. Оборудование и механизмы для упражнений с постоянной величиной сопротивления это –**

- система автоматической стабилизации подачи шнура тяговой рукоятки при условии, что:

- 1 – мощность исполнительного элемента системы равна или меньше мощности БКЗ спортсмена;



2 - мощность исполнительного элемента системы равна или больше мощности БКЗ спортсмена;

3 – мощность исполнительного элемента системы значительно превышает мощность БКЗ спортсмена.

**4. Оборудование и механизмы для упражнений с переменной величиной сопротивления создают:**

1 – момент на валу исполнительного элемента, который не зависит от угла поворота рукоятки тренажера;

2 – момент на валу исполнительного элемента, который зависит от угла поворота рукоятки тренажера;

3 – момент на валу исполнительного элемента, который зависит от напряжения питания его обмотки возбуждения.

**5. Оборудование и механизмы для упражнений с приспособляющимся сопротивлением в своей основе имеют:**

1 – тормозные фрикционные диски на основе центробежного регулятора Уатта;

2 – электромагнитное тормозное устройство малой мощности;

3 – электромагнитную порошокую муфту сцепления.

**6. Оборудование и механизмы для упражнений с облегчающим лидированием это –**

1 – буксировка спортивного гребного судна механическим средством на скоростях, на 10 % ниже соревновательных;

2 – буксировка спортивного гребного судна механическим средством, на скоростях, на 5÷7% превышающих соревновательные;

3 – проплывание пловцом дистанции, вслед за светоледирующим устройством.

**7. Оборудование и механизмы для упражнений стимулирующего воздействия:**

1 - обеспечивают уменьшение нагружающего момента на валу исполнительного элемента тренировочного устройства, при увеличении скорости перемещения БКЗ-на по траектории движения;

2 - обеспечивают уменьшение нагружающего момента на валу исполнительного элемента тренировочного устройства, при уменьшении скорости перемещения БКЗ по траектории движения;

3 - обеспечивает уменьшение нагружающего момента на валу исполнительного элемента тренировочного устройства, при постоянстве скорости перемещения БКЗ по траектории движения.

**8. Режимы работы мышц при упражнениях с ударной активации мышц:**

– при удержании в тренировочном устройстве исполнительного элемента выполненного в виде падающего молота мышечная система БКЗ преобладающе работает:

1 - в преодолевающем режиме;

2 – в уступающем режиме;

3 – в изометрическом режиме.

**9. Оборудование и механизмы для упражнений с колебательной активацией мышц создают:**

1 – гармонические синусоидальные колебания с частотой  $16 \div 30$  Гц и амплитудой 4,0 мм;

2 – гармонические синусоидальные колебания с частотой  $16 \div 40$  Гц и амплитудой до 4,0 мм направленные вдоль мышечных волококо, предварительно напряженной или растянутой мышцы;

3 – вибрации, лежащие в вышеперечисленных пределах.

**10. Оборудование и механизмы для моделирования упражнений с двигательными взаимодействиями спортсменов содержит:**

1 – датчики для оценки функционального состояния спортсмена;

2 – датчики начала движения спортсмена и программно-сравнивающий комплекс действий спортсмена;

3 – датчики для оценки быстроты двигательных действий и быстроты реакции.

## **ВАРИАНТ 2.2**

**1. Спортивные оборудование для коллективного пользования это –**

1 - оборудование, эксплуатируемое в офисе организации;

2 - оборудование, эксплуатируемое в спортивных залах;

3 - оборудование, эксплуатируемое в семейном физическом воспитании.

**2. Спортивные оборудование для индивидуального пользования это –**

1 - оборудование, эксплуатируемое в офисе организации;

2 - оборудование, эксплуатируемое в спортивных залах;

3 - оборудование, эксплуатируемое в семейном физическом воспитании.

**3. Стационарное спортивное оборудование это –**

1 - оборудование, конструкция которого жестко смонтирована на бетонном основании с закладными крепежными болтами;

2 - оборудование, конструкция которого установлена на специальной подставке, на бетонном основании с закладными крепежными болтами;

3 – оборудование, которое можно переместить к противоположной стене помещения с помощью 4-х человек.

**4. Переносное спортивное оборудование это –**

1 - оборудование, которое один человек, без посторонней помощи, размещает в транспортном средстве;

2 - оборудование, конструкция которого демонтируется и с помощью двух человек размещается в транспортном средстве;

3 – оборудование, которое можно демонтировать и переместить к противоположной стене помещения с помощью 1-го человека.

**5. Спортивное оборудование, эксплуатируемое на открытом пространстве это –**

1- оборудование, размещенное под защитным козырьком открытого

плавательного бассейна;

2 – информационное табло конькобежного стадиона;

3 – оборудование, размещенное в неотапливаемом спортивном сооружении.

**6. Спортивное оборудование, эксплуатируемое в закрытых помещениях это –**

1- оборудование, размещенное под защитным козырьком открытого плавательного бассейна;

2 – оборудование, эксплуатируемое в неотапливаемом спортивном манеже;

3 – информационное табло закрытого плавательного бассейна.

**7. Спортивное оборудование, эксплуатируемое в среде с повышенной опасностью поражения электрическим током если:**

1 – информационное табло размещается в закрытом плавательном бассейне;

2 – оборудование с питанием от сети переменного тока напряжением 220 вольт эксплуатируется в помещении с высокой влажностью и существует вероятность соприкосновения с электропроводящими материалами;

3 – оборудование с питанием от сети переменного тока напряжением 220 вольт эксплуатируется в помещении с высокой влажностью.

**8. Спортивное оборудование считается нагруженным когда:**

1 - механическая нагрузка, на несущие элементы конструкции тренажера, зависит от взаимодействия со спортивными снарядами;

2 - механическая нагрузка, на несущие элементы конструкции тренажера, зависит от совокупного динамического и статического воздействия массы тела спортсмена и спортивного снаряда;

3 - механическая нагрузка, на несущие элементы конструкции тренажера, зависит от динамического и статического воздействия массы тела спортсмена.

**9. Спортивное оборудование имеет ограничение в пространстве если:**

1 - во время тренировки спортсмен выполняет двигательные действия, разместившись на специальном лежаке;

2 - во время тренировки спортсмен выполняет двигательные действия, разместившись на специальном лежаке, вынесенном за пределы конструкции тренажера;

3 - во время тренировки спортсмен имеет возможность перемещаться по всему спортивному залу.

**10. Спортивное оборудование не имеет ограничения в пространстве если:**

1 - во время силовой тренировки спортсмен выполняет двигательные действия разместившись на специальном лежаке;

2 - во время тренировки спортсмен выполняет двигательные действия, разместившись на специальном лежаке, вынесенном за пределы конструкции тренажера;

3 - во время тренировки спортсмен имеет возможность перемещаться по всему спортивному залу.

## Тестовые задания по теме 3 «Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена»

### ВАРИАНТ 3.1

#### 1. Двигательная единица скелетной мышцы состоит из:

- 1 - мотонейрона, иннервирующего группу сократительных элементов;
- 2 – мотонейрона, иннервирующего сократительный элемент;
- 3 - мотонейрона и сократительного элемента.

#### 2. Что такое одиночный тетанус:

- 1 - отсутствие хотя бы частичного периода расслабления мышцы из-за высокой частоты иннерваций;
- 2 - выраженный период расслабления мышцы, сменяющийся новым напряжением при редкой иннервации;
- 3 - период расслабления мышцы, сменяющийся напряжением.

#### 3. Что такое гладкий тетанус:

- 1 - отсутствие хотя бы частичного периода расслабления мышцы из-за высокой частоты иннерваций;
- 2 - выраженный период расслабления мышцы, сменяющийся новым напряжением при редкой иннервации;
- 3 - период напряжения, сменяющийся расслаблением.

#### 4. Статическая форма работы мышцы это –

- 1 - работа мышцы, когда она при проявлении силы, изменяет свою длину;
- 2 - когда мышца проявляет одиночные сокращения без проявления силы;
- 3 - работа мышцы, когда она при проявлении силы, не изменяет свою длину.

#### 5. Динамическая форма работы мышцы это –

- 1 - работа мышцы, когда она при проявлении силы, изменяет свою длину;
- 2 - работа мышцы, когда она при проявлении силы, не изменяет свою длину;
- 3 - когда мышца проявляет одиночные сокращения без проявления силы.

#### 6. Изометрический режим работы мышцы это –

- 1 - режим, когда длина мышцы под внешней нагрузкой остается постоянной;
- 2 - режим, когда мышца сокращается под постоянной, внешней нагрузкой;
- 3 - режим сокращения мышцы под действием внешней переменной нагрузки.

#### 7. Изотонический режим работы мышцы это –

- 1 - режим, когда мышца сокращается под постоянной, внешней нагрузкой;
- 2 - режим, когда длина мышцы под внешней нагрузкой остается постоянной;
- 3 - режим сокращения мышцы под действием внешней переменной нагрузки.

#### 8. Ауксотонический режим работы мышц это –

- 1 - режим, когда мышца сокращается под постоянной, внешней нагрузкой;
- 2 - режим сокращения мышцы под действием внешней переменной нагрузки;
- 3 - режим, когда длина мышцы под внешней нагрузкой остается постоянной.

#### 9. Преодолевающий характер работы мышц это –

- 1- режим, когда мышцы, преодолевая внешнюю силу, укорачиваются;
- 2 – режим, когда мышцы, противостоя внешней, удлиняются;

3 – режим, когда мышцы противостоят внешней силе и сохраняют свою длину.

**10. Уступающий характер работы мышц это –**

1 – режим, когда мышцы противостоят внешней силе и сохраняют свою длину;

2 – режим, когда мышцы преодолевая внешнюю силу, укорачиваются;

3 – режим, когда мышцы противостоят внешней силе и удлиняются.

**ВАРИАНТ 3.2**

**1. Основной закон мышечной динамики называется:**

1 - закон Ньютона;

2 - закон Хилла;

3 - закон Лавуазье.

**2. Закон Хилла выражает:**

1 - зависимость между силой и скоростью сокращения мышцы;

2 - зависимость между силой и скоростью сокращения мышцы, при взаимодействии с внешней средой;

3 - зависимость тонуса мышцы от влияния внешней среды.

**3. Каким уравнением характеризуется закон Хилла:**

1 - гиперболическим уравнением с коэффициентами А и Б ;

2 - показательным уравнением;

3 - линейным уравнением с коэффициентами А и Б.

**4. Размерность коэффициента А:**

1 - силы;

2 - скорости;

3 - безразмерная константа.

**5. Размерность коэффициента В:**

1 - силы;

2 - скорости;

3 - безразмерная константа.

**6. Вертикальная ось графика зависимости сила-скорость отражает:**

1 - предельные значения силовых проявлений мышцы на соответствующих скоростях ее укорочения;

2 - предельную скорость укорочения мышцы при соответствующих силовых проявлениях;

3 - максимальные значения коэффициента полезного действия мышцы.

**7. Горизонтальная ось графика зависимости сила-скорость отражает:**

1 - максимальные значения коэффициента полезного действия мышцы;

2 - предельные значения силовых проявлений мышцы на соответствующих скоростях ее укорочения;

3 - предельную скорость укорочения мышцы, при соответствующих силовых проявлениях.

**8. На основе зависимости сила-скорость, максимальный коэффициент**

**полезного действия мышцы, проявляется:**

- 1 - на скорости,  $1/3$  от максимальной, без влияния внешней среды;
- 2 - на скорости,  $1/2$  от максимальной, без влияния внешней среды;
- 3 - на скорости,  $1/3$  от максимальной.

**9. Реальная зависимость сила-скорость отражает режимы работы мышцы:**

- 1 - уступающий – изометрический – преодолевающий;
- 2 - уступающий – преодолевающий;
- 3 - изометрический – преодолевающий.

**10. Что характеризует поверхность, ограниченная кривой зависимости сила-скорость и осями координат ее графика:**

- 1 - мощность, развиваемую мышцей;
- 2 - скоростно-силовые способности выраженные единицами мощности;
- 3 - максимальный коэффициента полезного действия мышцы.

**Тестовые задания по теме 4 «Организация и управление двигательной деятельностью»**

**ВАРИАНТ 4.1**

**1. Управляющие движения это –**

- 1 - изменения суставных углов, позволяющие обеспечить требуемое перемещение тела человека или его частей в пространстве;
- 2 - целенаправленные изменения суставных углов, позволяющие обеспечить требуемое перемещение тела человека или его частей;
- 3 - целенаправленные изменения суставных углов, позволяющие обеспечить требуемое перемещение тела человека или его частей в пространстве.

**2. Корректирующие движения это –**

- 1 - суставные движения, применяемые для улучшения характеристик двигательного действия, при коррекции движений в условиях силовой недостаточности главных управляющих движений;
- 2 - суставные движения, применяемые для компенсации силовой недостаточности характеристик выполняемого двигательного действия;
- 3 – суставные движения с целью улучшения характеристик выполняемого двигательного действия.

**3. Программа двигательных действий (программа места) это –**

- 1 - описание того, как в процессе выполнения двигательного действия должны перемещаться в пространстве центры масс звеньев тела спортсмена;
- 2 - описание того, как в процессе выполнения двигательного действия должен перемещаться в пространстве общий центр массы всего тела спортсмена;
- 3- описание того, как в процессе выполнения двигательного действия должно перемещаться в пространстве тело спортсмена.

**4. Программа двигательных действий ( программа ориентации) это –**

- 1 - описание вращательного движения тела спортсмена, которое должно

быть им выполнено в процессе выполнения двигательного действия;  
2 - вращательное движение тела спортсмена, которое должно быть им выполнено в процессе выполнения двигательных действий;  
3 - поступательное движение тела спортсмена, которое должно быть им выполнено в процессе выполнения двигательных действий.

**5. Количество биокинематических цепей необходимых для описания программы позы:**

- 1 – 5;
- 2 – 3;
- 3 – 4.

**6. Динамическая осанка характеризуется:**

- 1 - взаимным расположением звеньев тела человека позволяющим эффективно действовать его опорно-двигательному аппарату и внутренним органам;
- 2 - статикой взаимного расположения звеньев тела человека позволяющих эффективно действовать его опорно-двигательному аппарату;
- 3 - эстетикой взаимного расположения звеньев тела человека позволяющих эффективно действовать его опорно-двигательному аппарату.

**7. В каких видах спортивной деятельности преобладает зрительная, слуховая, нервно-мышечная, тактильная афферентация:**

- 1 - скоростно-силовых;
- 2 - циклических;
- 3 - двигательных взаимодействиях.

**8. Основной задачей атакующего спортсмена при двигательных взаимодействиях, является:**

- 1 - развить максимальное усилие;
- 2 - скрыть подготовительные движения;
- 3 - выполнить двигательное действие с максимальным ускорением.

**9. В каких видах спортивной деятельности спортсмен реализует себя как синхронно следящая система с автокоррекцией:**

- 1 - в двигательных взаимодействиях;
- 2 - в циклических видах спорта;
- 3 - в скоростно-силовых видах спорта.

**10. В каких видах спортивной деятельности спортсмен реализует себя как программная система регулирования с автокоррекцией:**

- 1 - в двигательных взаимодействиях;
- 2 - в циклических видах спорта;
- 3 - в скоростно-силовых видах спорта.

**ВАРИАНТ 4.2.**

**1. Не переместительное частное действие характеризуется:**

- 1 - напряжением мышц и перемещением звеньев;
- 2 - перемещением тела в пространстве;

3 - напряжением мышц.

## **2. Статические напряжения и парастатические действия характеризуются:**

1- созданием динамической осанки при действиях в сложно-координационных видах спорта;

2 - созданием динамической осанки, для сохранения которой большинство мышечных групп работают в режиме статических напряжений;

3 - работой мышечных групп в режиме статических напряжений.

## **3. Действия, направленные на сохранение устойчивости тела характерны:**

1 - для сложно-координационных видов спорта;

2 - для циклических видов спорта;

3 - для всех видов спорта и профессиональной деятельности человека.

## **4. Изменение места взаимодействия с внешними телами характеризуется:**

1 - изменением сил взаимодействия и их моментов относительно спортивного снаряда;

2 - изменением сил взаимодействия и их моментов относительно общего центра тяжести тел;

3 - изменением сил взаимодействия и их моментов относительно противника.

## **5. Точностные действия характерны для:**

1 - действий направленных на приведение к цели рабочей точки тела, либо удерживаемого снаряда;

2 – действий, направленных на создание динамической осанки;

3 – действий, направленных на своевременное противостояние внешней силе.

## **6. Выразительные действия это –**

1 - действия спортсмена, формирующие и сохраняющие эстетически законченные или выразительные позы, выполнение которых связано с энергообеспечивающими функциями;

2 – действия, формирующие и сохраняющие эстетически законченные или выразительные позы, выполнение которых не связано с энергообеспечивающими функциями;

3 – действия, формирующие и сохраняющие эстетически законченные или выразительные позы.

## **7. Максимальные силовые воздействия на перемещаемые тела:**

1 - завершаются действиям парастатического характера;

2 - предшествуют действиям парастатического характера;

3 - предшествуют действиям парастатического характера при создании динамической осанки.

## **8. Баллистические действия это –**

1 - максимально сильный неприцельный удар по футбольному мячу;

2 - сильный прицельный удар по мячу;

3 - передача мяча игроку на краю поля.



## **9. Амортизация мощных взаимодействий с другими телами осуществляется при:**

- 1 - уступающем характере работы мышц во время приземления при прыжке в высоту;
- 2 - статическом характере работы мышц во время приземления при прыжке в высоту;
- 3 - преодолевающим характере работы мышц во время приземления при прыжке в высоту.

## **10. Отталкивания ногами осуществляются при:**

- 1 - уступающем характере работы мышц во время приземления при прыжке в высоту;
- 2 - статическом характере работы мышц во время приземления при прыжке в высоту;
- 3 - преодолевающим характере работы мышц, при прыжке в высоту.

### **ВАРИАНТ 4.3**

#### **1. Переместительное частное действие характеризуется:**

- 1 - перемещением тела в пространстве, обусловленном спецификой двигательной деятельности;
- 2 - напряжением мышц и перемещением звеньев;
- 3 - перемещением тела в пространстве.

#### **2. Баллистические действия, связанные с полетом тела спортсмена это**

–

- 1 - действия, обеспечивающие перемещение общего центра тяжести по баллистической траектории;
- 2 - действия, обеспечивающие перемещение общего центра тяжести в безопорном положении;
- 3 - действия, обеспечивающие перемещение общего центра тяжести в безопорном положении по баллистической траектории.

#### **3. Активное скольжение это –**

- 1- перемещение скольжением за счет сил инерций;
- 2- перемещение по скользящим поверхностям, при поддержании скорости за счет активных движений звеньев тела;
- 3 - перемещение по скользящим поверхностям, при поддержании скорости.

#### **4. Пассивное скольжение это –**

- 1- перемещение скольжением за счет сил инерций;
- 2 - перемещение по скользящим поверхностям, при поддержании скорости за счет активных движений звеньев тела;
- 3 - перемещение по скользящим поверхностям, при поддержании скорости.

#### **5. Плавание это –**

- 1- движение тела спортсмена в среде сопротивляющейся ему, по квадратическому закону;
- 2 - движение тела спортсмена в среде сопротивляющейся ему, в зависимости

от скорости движения, по квадратическому закону;

3 - движение тела спортсмена в среде создающей ему выталкивающую силу.

#### **6. Шаговые действия это –**

1 - движения спортсмена осуществляемые с опорой на одну ногу;

2 - движения спортсмена осуществляемые с опорой на обе ноги;

3 - перемещение спортсменов шагами.

#### **7. Повороты это –**

1 - вращение тела спортсмена вокруг горизонтальной оси;

2 - вращение тела спортсмена вокруг продольной оси, выполняемое на опоре;

3 - вращение тела спортсмена в безопорном положении.

#### **8. Переворачивания это –**

1 – действия связанные с вращением тела спортсмена вокруг горизонтальной оси;

2 – действия связанные с вращением тела спортсмена вокруг продольной оси, выполняемые на опоре;

3 – действия связанные с вращением тела спортсмена в безопорном положении.

#### **9. Вращения вокруг несвободной оси это –**

1 - действия связанные с вращением тела спортсмена вокруг продольной оси, выполняемые на опоре;

2 - действия связанные с вращением тела спортсмена вокруг горизонтальной оси;

3 - действия, связанные с вращением тела вокруг поперечной или переднезадней оси при наличии связи руками со снарядом.

#### **10. Ситуационные действия это –**

1- действия спортсмена связанные с реакциями на возникновения непредвиденных ситуаций;

2 - действия связанные с предупреждением возникновения непредвиденных ситуаций;

3 - действия спортсмена во время непредвиденной ситуации.

### **Тестовые задания по теме 5 «Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы»**

#### **Вариант 5.1**

##### **1. Антропометрические показатели спортсмена следует учитывать:**

1 – при определении предельных нагрузок на несущие элементы конструкции тренажера;

2 – при определении эксплуатационных свойств проектируемого тренажера;

3 – для создания комфортных условий при тренировках на проектируемом тренажере.

##### **2. Механографические сигналы характеризуют:**

1 – силовые проявления в двигательном действии;

2 – длину прыжка с разбега;

3 – пространственно-временные параметры двигательного действия.

**3. Динамометрические сигналы характеризуют:**

- 1 – силовые проявления в двигательном действии;
- 2 – абсолютную силу;
- 3 – относительную силу.

**4. Спектральная плотность характеризует:**

- 1 – периодическую последовательность импульсов силы;
- 2 – одиночный импульс силы, когда  $T \rightarrow \infty$ ;
- 3 – периодически возникающую серию импульсов силы.

**5. Гармонический анализ используется:**

- 1 – для исследования скорости изменения восходящего фронта импульса силы;
- 2 – для исследования скорости изменения нисходящего фронта импульса силы;
- 3 – для исследования энергетики составляющих импульса силы за время его действия.

**6. Метод электротензометрии в спорте используется преимущественно для:**

- 1 – получения динамических характеристик движений в области малых и значительных перемещений;
- 2 – получения динамических характеристик движений в области значительных перемещений;
- 3 – получения сигналов о функциональном состоянии спортсменов при значительных перемещениях.

**7. Для контроля функционального состояния спортсмена из его кардиограммы выделяются:**

- 1 – все зубцы электрической активности сердца;
- 2 – самые значительные зубцы по амплитуде;
- 3 – все R-зубцы.

**8. Для получения кардиографических сигналов используется:**

- 1 – помехоустойчивый усилитель постоянного тока с  $R_{вх} \leq 1\text{Мом}$ ;
- 2 – помехоустойчивый усилитель постоянного тока с  $R_{вх} \geq 1\text{Мом}$ ;
- 3 – усилитель постоянного тока с  $R_{вх} \geq 1\text{Мом}$  и соответствующим коэффициентом усиления.

**9. Для получения электромиографических сигналов используются:**

- 1 – помехоустойчивый усилитель переменного тока с  $R_{вх} \geq 1\text{Мом}$ ;
- 2 – усилитель постоянного тока с  $R_{вх} \geq 1\text{Мом}$  и соответствующим коэффициентом усиления;
- 3 – помехоустойчивый усилитель переменного тока с  $R_{вх} \geq 1\text{Мом}$  и амплитудным и частотным дискриминатором.

**10. Метод электромиографии в спорте используется преимущественно для:**

- 1 – определения электрической активности мышц и их взаимных

- координаций при организации движений;
- 2 – определения подготовительных действий мышечной системы спортсмена при двигательных взаимодействиях;
- 2 – определения особенностей действий мышечной системы спортсмена в сложно-координационных движениях.

## **Тестовые задания по теме 6 «Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека»**

### **ВАРИАНТ 6.1**

#### **1. Феномены двигательных проявлений имеют место в случае:**

- 1 - двигательной универсальности на этапе развития и становления;
- 2 - снижения влияния внешней среды;
- 3 - естественной внешней среды.

#### **2. Основание для противоречия эволюционных парадоксов формирования возможностей человека:**

- 1 – резервы двигательных возможностей раскрываются при взаимодействии с переменчивой внешней средой;
- 2 - отсутствие специализации при взаимодействии с окружающей средой;
- 3 - резервы двигательных возможностей раскрываются при взаимодействии с постоянной внешней средой.

#### **3. Наиболее полно раскрыть двигательные возможности человека можно:**

- 1 - за счет совершенствования двигательных способностей;
- 2 - за счет вносимых в процесс выполнения естественных движений искусственных энергосиловых добавок;
- 3 – за счет снижения влияния внешней среды.

#### **4. Состояние «двигательного будущего» достигается:**

- 1 - искусственной компенсацией отстающих двигательных способностей человека и снижения влияния внешней среды - техническими средствами;
- 2 - естественной компенсацией отстающих двигательных способностей в процессе спортивной тренировки;
- 3 - снижения влияния внешней среды.

#### **5. Искусственное формирование двигательного будущего основано :**

- 1 - на использовании совершенных средств спортивного отбора;
- 2 - на использовании совершенных средств спортивной диагностики;
- 3 - на использовании технических средств искусственной управляющей среды.

#### **6. Формирование движений с рекордной результативностью требует:**

- 1 - технических средств «управляющей искусственной среды» позволяющих придать движениям, энергосиловые добавки, компенсирующие негативное влияние внешней среды;
- 2 - технических средств спортивной тренировки;
- 3 – сопряженного применения средств спортивной тренировки и

совершенствования процесса спортивной тренировки.

**7. Принципы создания условий «управляющего искусственного окружения» это –**

- 1 – использование технических средств спортивной тренировки;
- 2 - использование энергосиловых добавок для управляемого изменения сил гравитации и сопротивления внешней среды;
- 3 – сопряженного применения технических средств спортивной тренировки и совершенствования процесса спортивной тренировки.

**8. Состояние «здорового прошлого» достигается:**

- 1 - искусственной компенсацией отстающих двигательных способностей человека и снижения влияния внешней среды - техническими средствами;
- 2 – естественным восстановлением отстающих двигательных способностей в процессе физической реабилитации;
- 3 - снижением влияния внешней среды.

**9. Состояние «здорового прошлого» это –**

- 1 - физическое состояние и профессиональные навыки спортсмена;
- 2 - физическое состояние и профессиональные навыки специалиста;
- 3 - физическое состояние и профессиональные навыки человека до перенесенной травмы.

**10. Состояние «здорового прошлого» достигается использованием:**

- 1 - силового лидирования и биомеханической коррекции движений;
- 2 – средств механотерапии;
- 3 – спортивных тренажеров.

**Тестовые задания по теме 7 «Функциональные элементы технических устройств»**

**ВАРИАНТ 7.1**

**1. Элементы взаимодействия спортсмена с тренажером это –**

- 1 – сетевой выключатель для подключения тренажера к питающей сети;
- 2 – органы управления, с помощью которых устанавливается нужный режим работы тренажера;
- 3 – пульт управления тренажером, органы управления которым имеют облегченный режим.

**2. Преобразователи видов механических движений в тренажерах это –**

- 1 – тяга с использованием блочной системы при передаче усилия от исполнительного элемента;
- 2 – отрезок тягового троса проходящий через систему, состоящую из трех блоков;
- 3 - отрезок тягового троса нужной длины.

**3. Преобразователи мощности это –**

- 1 - функциональный элемент, обеспечивающий передачу помехозащищенного сигнала с преобразователя неэлектрической величины в электрическую;
- 2- функциональный элемент, обеспечивающий выходную величину,

достаточную чтобы получить от исполнительного элемента тренажера требуемые пространственно-временные и динамические параметры восстанавливаемых специфических движений;

3 - функциональный элемент, обеспечивающий цифровое преобразование сигнала о параметрах двигательного действия.

#### **4. Исполнительными элементами тренажера являются:**

1- электромеханическое устройство, создающее крутящий момент пропорциональный изменению угловой скорости тахогенератора связанного с тяговой рукояткой;

2 - элемент, преобразующий входной электрический сигнал в механическое действие нагружающее мышечную систему спортсмена либо информацию о ситуации, на которую нужно немедленно ответить;

3 - пневматический толкатель противодействующий движению спортсмена.

#### **5. Электронными исполнительными элементами тренажера для спортивных единоборств являются:**

1 – система, подающая запрограммированные афферентные сигналы спортсмену на выполнение соответствующих двигательных действий и индицирующая результаты этих действий;

2 – таймер измеряющий время двигательной реакции спортсмена;

3 – процессорное устройство для программирования двигательных действий спортсмена.

#### **6. функциональные элементы оборудования для восстановления профессиональных способностей к аperiodической деятельности:**

1 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую, связавший между собой элемент взаимодействия спортсмена и преобразователь мощности;

2 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент;

3 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - исполнительный элемент - преобразователь видов механических движений, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую (датчик).

#### **7. Функциональные элементы оборудования для восстановления профессиональных способностей к скоростно-силовым проявлениям:**

1 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую, связавший между собой элемент взаимодействия спортсмена и преобразователь

мощности;

2 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент;

3 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - исполнительный элемент - преобразователь видов механических движений, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую (датчик).

#### **8. Функциональные элементы оборудования для восстановления профессиональных способностей к циклической работе:**

1 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент, а также преобразователь биоэлектрических сигналов (датчик), связавших между собой спортсмена и преобразователь мощности;

2 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент;

3 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - исполнительный элемент - преобразователь видов механических движений, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую (датчик).

#### **9. Функциональные элементы оборудования для восстановления профессиональных способностей к работе, связанной с проявлением быстроты и точности движений:**

1 - элементы взаимодействия с тренажером – преобразователь мощности – механический исполнительный элемент – систему слежения за двигательной деятельностью спортсмена - программно-моделирующий блок – систему сравнения – источник питания;

2 - элементы взаимодействия с тренажером – преобразователь мощности – механический исполнительный элемент – систему слежения за двигательной деятельностью спортсмена – систему сравнения – информационный исполнительный элемент;

3 - элементы взаимодействия с тренажером – преобразователь мощности – механический исполнительный элемент – систему слежения за двигательной деятельностью спортсмена - программно-моделирующий блок – систему сравнения – информационный исполнительный элемент.

#### **10. Функциональные элементы оборудования для восстановления профессиональных способностей к работе, связанной с необходимостью ориентироваться в пространстве:**

1 - систему биометрических датчиков – систему афферентации спортсмена – программное устройство – сравнивающую систему – временную индицирующую систему;

2 - систему датчиков для фиксации начала движения – систему афферентации спортсмена – программное устройство – сравнивающую систему – временную индицирующую систему;

3 - систему биометрических датчиков и датчиков для фиксации начала движения – систему афферентации спортсмена – программное устройство – сравнивающую систему – временную индицирующую систему.

## **ВАРИАНТ 7.2**

**1. Датчик (основное понятие) это –**

1 - тензоэлемент динамометрического прибора;

2- конструктивно законченный преобразователь, предназначенный для выполнения определенной функции;

3 - резистивный, измерительный тензомост динамометрического прибора.

**2. Преобразование физических величин в электрические сигналы при перемещении биоэлектрических потенциалов тела человека это –**

1 – пропорциональный электрический сигнал на выходе датчика линейного ускорения;

2 - цикл преобразования неэлектрических величин биомеханического характера в пропорциональный электрический сигнал для его дальнейшей обработки;

3 - пропорциональный электрический сигнал от датчика касания, на выходе детектора каскада промежуточного усиления по переменному току.

**3. Структурная схема преобразователя неэлектрической величины в электрическую это –**

1- последовательно соединенные между собой: датчик - электронный усилитель – индикатор;

2- последовательно соединенные между собой: датчик - электронный усилитель – индикатор - источник питания;

3- последовательно соединенные между собой: датчик с источником питания - электронный усилитель – индикатор, питаемые от отдельного источника питания.

**4. Входная величина преобразователя неэлектрической величины в электрическую это –**

1 - величина, являющиеся следствием функционирования механизмов тренажера или организма спортсмена, воздействующая на преобразователь;

2 - звуковой сигнал запускающий электронный секундомер;

3 - ручное, механическое воздействие на сенсорный выключатель, запускающий электронный секундомер.

**5. Выходная величина преобразователя неэлектрической величины в электрическую это –**

1 - физическая величина получаемая на выходе преобразователя, как результат преобразования, в виде тока или напряжения;

2 – значения тока или напряжения, зафиксированные на шкале индикатора;



3 – электрический сигнал на входе измерителя действующего значения тока.

**6. Чувствительность преобразователя это–**

1 - отношение изменения сигнала на входе преобразователя к изменению измеряемой величины на выходе;

2 - отношение изменения сигнала на выходе преобразователя к вызывающему его изменению измеряемой величины;

3 - минимальное значения входной величины, на которую реагирует преобразователь.

**7. Динамический диапазон преобразователя неэлектрической величины в электрическую:**

1 – определяется максимальным значением преобразуемой величины;

2 - определяется минимальным значением преобразуемой величины;

3 - определяется максимальным и минимальным значениями преобразуемой величины, а также в децибелах.

**8. Основная погрешность процесса преобразования неэлектрической величины в электрическую это –**

1 - максимальная разность между получаемой и номинальной выходными величинами;

2 – максимальная разность между получаемой и номинальной выходными величинами, определяемыми в нормальных условиях;

3 – определяется классом точности индикации результата преобразования.

**9. К активным преобразователям неэлектрической величины в электрическую относятся:**

1 – пьезоэлектрические;

2 – индуктивные;

3 – емкостные.

**10. К параметрическим преобразователям неэлектрической величины в электрическую относятся:**

1 – индукционные;

2 – тензоэлектрические;

3- потенциометрические.

**Тестовые задания по теме 8 «Технические средства как элементы систем автоматического регулирования»**

**. Вариант 8.1**

**1. Записать преобразование Лапласа можно как:**

1 –  $f(t) \equiv F(p)$ ;

2 –  $f(t) \quad F(p)$ ;

3–  $f(t) = F(p)$ .

**2. Динамическое звено это –**

1 – электронный усилитель мощности;

2 – один из каскадов этого усилителя;

3 – электронный усилитель мощности, подключенный к электропитающей

цепи.

**3. Передаточная характеристика динамического звена это –**

1 – отношение изображения выходного сигнала звена к изображению сигнала на его входе;

2 – отношение амплитуды выходного сигнала звена к амплитуде сигнала на его входе;

3 – предельное значение амплитуд на входе и выходе динамического звена.

**4. Пропорциональными звеньями являются:**

1 – звенья, у которых проявляется значительная инерция;

2 – звенья, у которых проявляется незначительная инерция;

3 – звенья, у которых отсутствует инерция.

**5. Интегрирующими звеньями являются:**

1 – звенья, у которых выходной сигнал представляет собой интеграл входного сигнала;

2 – звенья, у которых на входе сигнал пропорциональный интегралу выходного сигнала с выхода предыдущего звена или каскада;

3 – звено преобразующее инерцию тела в электрический сигнал.

**6. Дифференцирующими звеньями являются:**

1 – звено преобразующее инерцию тела в механическую энергию;

2 – звенья, у которых выходной сигнал представляет собой производную входного сигнала;

3 – звено преобразующее упругую энергию в электрический сигнал.

**7. Инерционными звеньями являются:**

1 – звено, у которого при приложении физического воздействия, соответствующая реакция может опережать конечные значения;

2 – звено, у которого при приложении физического воздействия, соответствующая реакция может отставать от конечного значения;

3 – звено, у которого при приложении физического воздействия, соответствующая реакция не сразу достигает конечного значения.

**8. При последовательном соединении динамических звеньев их:**

1 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна произведению, разделенному на сумму их передаточных функций;

2 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна произведению их передаточных функций;

3 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна сумме их передаточных функций.

**9. При параллельном соединении динамических звеньев их:**

1 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна сумме их передаточных функций;

2 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна сумме, разделенной на произведение их передаточных функций;

3 – передаточная функция последовательно соединенных динамических звеньев равна произведению их передаточных функций.

#### **10. Электромеханические аналоги это –**

1 – аналогия электрического последовательно колебательного контура и шатунно-кривошипного механизма;

2 – аналогия механических и электрических колебательных систем;

3 – аналогия закона движения толкателя кулачкового механизма и физических процессов в электрическом параллельном колебательном контуре.

### **ВАРИАНТ 8.2.**

#### **1. Элементы взаимодействия спортсмена с тренажером это –**

1 – сетевой выключатель для подключения тренажера к питающей сети;

2 – органы управления, с помощью которых устанавливается нужный режим работы тренажера;

3 – захваты для кистей рук связанные с тросами намотанными на барабане и установленными на валу электропривода.

#### **2. Выходной величиной элементов взаимодействия спортсмена с тренажером является:**

1 – выходная механическая величина, требующая дальнейшего преобразования для ее приведения к выходным параметрам исполнительного элемента;

2 – механическая величина, требующая дальнейшего преобразования;

3 – выходная механическая величина, требующая дальнейшего преобразования.

#### **3. С точки зрения систем автоматического регулирования элементы взаимодействия спортсмена с тренажером можно описать как:**

1 – форсирующее динамическое звено;

2 – динамическое звено с соответствующим коэффициентом передачи;

3 – пропорциональное динамическое звено с коэффициентом передачи стремящимся к 1,0.

#### **4. Преобразователи видов механических движений в тренажерах это –**

1 – отрезок тягового троса требуемой длины;

2 – барабан с возможностью вращения и намотанным на нем тяговым тросом;

3 – барабан смонтированный на валу электрической машины.

#### **5. Выходной величиной преобразователя видов механических движений в тренажерах является:**

1 – равноускоренное прямолинейное движение на ограниченном отрезке пути;

2 – выходная механическая величина, не требующая ее дальнейшего преобразования для соответствия выходным параметрам исполнительного элемента;

3 – цикл вращательного движения выходного вала редуктора.

**6. С точки зрения систем автоматического регулирования преобразователи видов механических движений в тренажерах можно описать как:**

- 1 – аperiodическое динамическое звено;
- 2 – дифференцирующее динамическое звено;
- 3 – пропорциональное динамическое звено.

**7. Преобразователи мощности в тренажерах это –**

- 1 - функциональный элемент, обеспечивающий цифровое преобразование сигнала о параметрах двигательного действия;
- 2 - функциональный элемент, обеспечивающий выходную величину в виде электрического сигнала, достаточную чтобы получить от исполнительного элемента тренажера требуемую нагрузку на мышечную систему спортсмена;
- 3 - функциональный элемент, обеспечивающий передачу помехозащищенного сигнала с преобразователя неэлектрической величины в электрическую.

**8. Исполнительными элементами в тренажерах являются:**

- 1 - электромеханическое устройство создающее крутящий момент пропорциональный изменению угловой скорости тахогенератора связанного с тяговой рукояткой;
- 2 - элемент, преобразующий входной электрический сигнал в механическое действие, нагружающее мышечную систему по траектории движения, по нужному закону;
- 3 - пневматический толкатель противодействующий движению спортсмена.

**9. Если, в качестве исполнительного элемента в тренажере используется электрический двигатель, то его передаточная функция определяется:**

- 1 – совокупностью передаточных функций пропорционального, интегрирующего и инерционного звена;
- 2 – совокупностью передаточных функций пропорционального, дифференцирующего инерционного звена;
- 3 – совокупностью передаточных функций пропорционального и инерционного звена.

**10. Функциональная схема тренажера включает в себя:**

- 1 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую, связавший между собой элемент взаимодействия спортсмена и преобразователь мощности;
- 2 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - преобразователь видов механических движений - преобразователи мощности - исполнительный элемент;
- 3 – последовательно связанные между собой: элемент взаимодействия спортсмена с тренажером - исполнительный элемент - преобразователь

видов механических движений, а также преобразователь неэлектрической величины в электрическую (датчик).

## **Тестовые задания по теме 9. «Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и физической культуре»**

### **ВАРИАНТ 9.1**

#### **1. Стимуляции биологической активности человека это:**

- 1 – воздействие на мышечную ткань периодических электрических колебаний с частотой  $16 \div 30$  Гц и напряжением 12 вольт;
- 2 – воздействие на мышечную ткань механических колебаний с частотой  $16 \div 30$  Гц и амплитудным значением равным 4,0 мм;
- 3 – воздействие на мышечную ткань механических колебаний с частотой  $16 \div 30$  Гц и амплитудным значением равным или превышающим 4,0 мм.

#### **2. Устройство для колебательной активации мышц может содержать:**

- 1 – генератор тока, генерирующий синусоидальные импульсы тока с частотой  $16 \div 30$  Гц;
- 2 – генератор напряжения, генерирующий синусоидальные импульсы с частотой  $16 \div 30$  Гц;
- 3 – электродвигатель с преобразователем вида движения, вырабатывающим механические колебания с частотой  $16 \div 30$  Гц.

#### **3. Обменные процессы в стимулируемой мышечной ткани активизируются за счет:**

- 1 – управляемой микроциркуляции крови в этой мышечной ткани;
- 2 – периодических сокращений мышцы работающей в динамическом режиме;
- 3 – статического сокращения мышцы.

#### **4. Устройство для колебательной активации мелких групп мышц может содержать:**

- 1 – устройство, приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с кулисным механизмом;
- 2 – устройство с кулисным механизмом;
- 3 – устройство приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с кулачковым механизмом.

#### **5. Устройство для колебательной активации средних групп мышц может содержать:**

- 1 – устройство приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с кулисным механизмом;
- 2 – устройство приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с шатунно-кривошипным механизмом;
- 3 – устройство с кулачковым механизмом.

#### **6. Устройство для колебательной активации крупных мышц может**

**содержать:**

- 1 – устройство, приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с кулисным механизмом;
- 2 – устройство с шатунно-кривошипным механизмом;
- 3 – устройство, приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - с кулачковым механизмом.

**7. Устройство для колебательной активации мышц через спортивный снаряд может содержать:**

- 1 – устройство, приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения - устройство с кулисным механизмом;
- 2 – устройство, приводящее во вращение тело со смещенной осью вращения;
- 3 – устройство с шатунно-кривошипным механизмом.

**8. Точки вибротода устройства для колебательной активации мышц на основе кулисного механизма осуществляют:**

- 1 – возвратное, ускоренное движение по окружности;
- 2 – возвратное, прямолинейное с переменным ускорением;
- 3 – возвратное, равномерное, движение по окружности.

**9. Точки вибротода устройства для колебательной активации мышц на основе кулачкового механизма осуществляют:**

- 1 – возвратное, прямолинейное движение с переменным ускорением ;
- 2 – возвратное, ускоренное движение по окружности;
- 3 – возвратное, равномерное прямолинейное движение.

**10. Точки вибротода устройства для колебательной активации мышц на основе шатунно-кривошипного механизма осуществляют:**

- 1 – возвратное, ускоренное движение по окружности;
- 2 – возвратное, прямолинейное с переменным ускорением движение;
- 3 – возвратное равномерное движение по окружности.

## ПРОГРАММА

Белорусский национальный технический университет

### УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе,  
социальным вопросам и спорту  
Белорусского национального  
технического университета

\_\_\_\_\_ О.К. Гусев

\_\_\_\_\_  
Регистрационный № УД-  
\_\_\_\_\_ /уч.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СПОРТИВНОЙ ТЕХНИКИ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальностей

1- 60 02 01 Техническое обеспечение спортивных технологий

1-60 02 02 Проектирование и производство спортивной

2015

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины «Теоретические основы построения спортивной техники» разработана для специальностей 1- 60 02 01 Техническое обеспечение спортивных технологий и 1-60 02 02 Проектирование и производство спортивной техники.

Физические упражнения являются основным средством спортивной тренировки, физической культуры, профессиональной и физической реабилитации. Форма и содержание физического упражнения имеет основополагающий характер при организации эффективного процесса спортивной тренировки и физического воспитания с различной категорией лиц вовлеченных в физкультурно-спортивную деятельность. В свою очередь, форма и содержание физических упражнений, самым непосредственным образом, определяется конструктивными особенностями элементов, узлов и механизмов спортивной техники.

Целью изучения дисциплины является подготовка специалистов способных на основе понимания педагогического процесса в области физической культуры и спорта сконструировать технические средства спортивной тренировки, необходимые для оптимизации этого процесса.

Основными задачами дисциплины являются: формирование необходимого объема знаний об особенностях двигательной деятельности спортсмена, конструктивных особенностях спортивной техники и принципах ее построения, а также навыков решения задач спортивной тренировки с помощью различных технических средств.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких курсов, как «Физика», «Биомеханика», «Теоретические основы электротехники», «Электроника».

В основе дисциплины лежат фундаментальные положения физиологии мышечной деятельности, механики и биомеханики, электротехники, электроники, теории автоматического управления процессами. Знания и умения, полученные студентами при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения специальных дисциплин, связанных с проектированием и расчетом технических средств, их деталей и узлов, используемых в процессе спортивной тренировки.

В результате освоения дисциплины «Теоретические основы построения спортивной техники» студент должен:

**знать:**

свойства спортивной техники, ее место в процессе спортивной тренировки;

особенности взаимодействия организма человека со спортивной техникой;

механические, электромеханические и электронные элементы спортивной техники;



перспективы развития спортивной техники;

**уметь:**

проводить технические и педагогические испытания различных конструкций спортивных устройств и оборудования;

использовать информационно-измерительные средства для определения базового уровня физического развития, функционального состояния и физической подготовленности спортсменов в различных видах спорта;

**владеть:**

приемами и навыками в выборе компонентов спортивной техники;

методикой построения структурных и функциональных схем спортивной техники, расчета отдельных узлов и элементов;

принципами создания условий «искусственно управляемой среды».

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующих компетенций:

– АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач в области проектирования спортивной техники

– АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

– АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

– АК-4. Уметь работать самостоятельно.

– АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

– АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

– АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

– АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

– АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

– АК-10. Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности.

– СЛК-6. Уметь работать в коллективе.

– СЛК-7. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

По специальности 1-60 02 02 Проектирование и производство спортивной техники

– ПК-3. В составе группы специалистов разрабатывать технологическую документацию, принимать участие в создании стандартов и нормативов.

– ПК-4. Осуществлять оперативный контроль за функционированием спортивной техники.

- ПК-6. Определять и анализировать эффективность эксплуатируемой спортивной техники.
- ПК-15. Разрабатывать проект механической, гидравлической, пневматической, электрической и информационно-измерительной составляющих спортивной техники.
- ПК-16. Рассчитывать и анализировать режимы функционирования спортивной техники и намечать пути их улучшения.
- ПК-17. Сопровождать приемочные испытания новых типов спортивной техники.
- ПК-20. Анализировать перспективы развития спортивной техники и технологий её изготовления.
- ПК-28. Анализировать и оценивать собранные данные.
- ПК-30. Готовить доклады, материалы к презентациям.
- ПК-31. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-32. Владеть современными средствами телекоммуникаций.

Для специальности 1- 60 02 01 Техническое обеспечение спортивных технологий

- ПК-1. Разрабатывать технологическую документацию, принимать участие в создании стандартов и нормативов.
- ПК-2. Осуществлять выбор оптимальных алгоритмов работы спортивной техники с высокой степенью адаптивности к антропометрическим и психофизиологическим параметрам спортсменов.
- ПК-3. Определять наиболее рациональные процедуры и средства поиска неисправностей, состава и компоновки текущего ремонта и техобслуживания спортивной техники.
- ПК-5. Определять и анализировать эффективность эксплуатируемой спортивной техники.
- ПК-8. Разрабатывать эргономическую составляющую проекта спортивной техники;
- ПК-9. Проводить экспертную оценку предлагаемых вариантов проектирования объектов спортивной техники с имеющимися аналогами.
- ПК-19. Рассчитывать и анализировать режимы функционирования спортивной техники и намечать пути ее улучшения.
- ПК-22. Участвовать в работе по подготовке научных статей, сообщений, рефератов и заявок на изобретения и полезные модели.
- ПК-31. Анализировать и оценивать собранные данные.
- ПК-33. Готовить доклады, материалы к презентациям.

Согласно учебному плану на изучение дисциплины «Теоретические основы построения спортивной техники» отведено:

для специальности 1-60 02 02 Проектирование и производство спортивной всего 187 ч., в том числе — 84 ч., аудиторных занятий, из них лекции — 50 ч.; практические занятия — 18 Формы текущей аттестации –

зачет, курсовая работа;

для специальности 1- 60 02 01 Техническое обеспечение спортивных технологий всего 100 ч., в том числе — 52 ч., аудиторных занятий, из них лекции — 34 ч.; практические занятия — 18 ч. Форма текущей аттестации – зачет.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий представлено в таблице 1 (для специальности 1- 60 02 01 Техническое обеспечение спортивных технологий) и таблице 2 (для специальности 1- 60 02 02 Проектирование и производство спортивной техники)

Таблица 1

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	5	34		18	зачет

Таблица 2.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	18		34	курсовая работа, зачет

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Тема 1. Технические средства в физической культуре и спорте.

#### Понятия, классификации

Физические упражнения - основополагающий элемент спортивной тренировки, физической культуры, профессиональной подготовки, физической и профессиональной реабилитации. Форма и содержание физических упражнений, их направленность, характер воздействия на человеческий организм. Локальное, региональное, глобальное воздействие. Связи: - обратная, информационная. Тренировочный снаряд, приспособление, устройство. Тренажерное устройство, система.

### Тема 2. Основные свойства технических средств, используемых в спортивной тренировке

Спортивные устройства и оборудование индивидуального и коллективного пользования. Стационарное и переносное спортивное оборудование. Спортивное оборудование, эксплуатируемое на открытом пространстве, в закрытых помещениях и в среде с повышенной опасностью поражения электрическим током. Спортивные устройства и оборудование - нагруженные и ненагруженные, с ограничением и без ограничения в пространстве, механические, электромеханические, электронные.

Оборудование и механизмы для упражнений с постоянной и переменной величиной сопротивления. Оборудование и механизмы для упражнений с приспособляющимся сопротивлением. Оборудование и механизмы для упражнений с облегчающим лидированием. Оборудование и механизмы для упражнений стимулирующего воздействия, ударной и колебательной активации мышц. Оборудование и механизмы для моделирования упражнений с двигательными взаимодействиями спортсменов.

### Тема 3. Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена

Сократительные элементы скелетных мышц. Механизм мышечных сокращений. Тетанус. Внутри и междумышечная координация. Статическая и динамическая работа. Преодолевающий и уступающий характер мышечной работы. Изометрический, изотонический, ауксотонический, плиометрический режимы мышечных сокращений. Основной Закон мышечной динамики (Закон Хилла). Закон Хилла для различных видов спорта и силовых проявлений у спортсменов с различным уровнем скоростно-силовой подготовленности. Механорецепторы скелетных мышц, сухожилий и суставных сочленений.

#### **Тема 4. Организация и управление двигательной деятельностью**

Управляющие и корректирующие движения. Программа двигательных действий (программа места, программа ориентации, программа позы). Динамическая осанка. Виды двигательных действий. Частные двигательные действия. Механика двигательных действий. Человек как самоуправляющаяся система. Синхронно-следающая система автоматического регулирования, программная система автоматического регулирования. Зрительная, слуховая, нервно-мышечная, тактильная афферентация. Регуляция двигательных действий. Двигательные взаимодействия спортсменов.

#### **Тема 5. Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы.**

Антропометрические показатели. Механограмма движения. Механографы. Пространственно-временная характеристика движения. Динамическая характеристика движения. Сила абсолютная, относительная, импульс силы, мощность. Преобразование Фурье, линейчатый спектр, спектральная плотность.

Гармонический анализ импульса силы. Электротензометрия в исследовании мышечной работы спортсмена. Кардиографические, миографические, реографические сигналы. Оборудование для газоанализа и исследования легочной вентиляции. Кожногальваническая реакция и тепловое излучение организма.

#### **Тема 6. Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека**

Феномены двигательных проявлений. Противоречия эволюционных парадоксов формирования возможностей человека. Условия раскрытия двигательных возможностей человека. Состояние «двигательного будущего». Искусственное формирование двигательного будущего. Формирование движений с рекордной результативностью на основе средств «управляющего искусственного окружения». Восстановление двигательных функций на основе средств «управляющего искусственного окружения» в приближении к состоянию «здорового двигательного прошлого. Принципы создания условий «управляющего искусственного окружения». Особенности взаимодействия человека с различными устройствами и оборудованием.

#### **Тема 7. Функциональные элементы технических устройств**

Преобразователи видов движения. Преобразователи физических величин в электрические сигналы. Преобразователи электрических сигналов.

Механические и электромеханические исполнительные элементы. Исполнительные элементы на основе гидравлических систем и магнитных жидкостей. Информационные системы.

### **Тема 8. Технические средства как элементы систем автоматического регулирования**

Разомкнутые и замкнутые системы регулирования в тренировочном оборудовании. Инерционные процессы, узлы, механизмы спортивной техники и динамические звенья систем автоматического регулирования. Входные и выходные воздействия, передаточные функции динамических звеньев описывающих узлы и механизмы спортивной техники. Операторная форма описания динамических звеньев и их передаточных функций. Электромеханические аналоги.

### **Тема 9. Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и физической культуре**

Окружающая среда, вибрация, человек. Колебательные процессы в организме человека. Избирательные колебательные воздействия на костно-мышечную систему человека. Механическая модель тела человека. Микроциркуляция крови в мышечных тканях. Биоэлектрические процессы в нервных волокнах при колебательных воздействиях на мышечную систему. Обменные процессы в мышцах. Силовые способности. Физиологический поперечник. Внутримышечная координация. Абсолютная, относительная, взрывная сила, силовая выносливость. Стартовая скорость, ускорение. Суставная подвижность. Активная, пассивная гибкость. Координационные способности. Между-мышечная координация. Динамический стереотип движения. Место стимуляции биологической активности в процессе спортивной тренировки, физической культуры, физической и профессиональной реабилитации. Объем и интенсивность тренирующих воздействий. Методика развития физических качеств в силовых и скоростно-силовых видах спорта, в циклических видах спорта, в спортивных играх, единоборствах, сложно-координационных видах спорта, профессиональной деятельности. Принципы построения устройств и оборудования для упражнений со стимуляцией биологической активности и их основные технические и эксплуатационные характеристики. Средства оперативного контроля. Безопасность и противопоказания при выполнении упражнений со стимуляцией биологической активности.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Список литературы

#### Основная литература

1. Скрипко, А.Д. Технологии в физической культуре и спорте / А.Д. Скрипко, М.Б. Юспа. – Мн. : 2004, – 126 с.
2. Ратов, И.П. Двигательные возможности человека / И.П. Ратов. – Мн. :1994, – 190 с.
3. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников [и др.]; под общ. ред. В.В. Солодовникова. – М.:Машиностроение, 1985, – 535 с.
4. Левитинский, Н.И. Курс теории механизмов и машин / Левитинский, Н.И Левитинская, О.Н. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1985, - 27 с., ил.

#### Дополнительная литература

1. Юшкевич, Е.П. Тренажеры в спорте / Е.П. Юшкевич, В.Е. Васюк, В.А. Буланов; под ред. Е.П. Юшкевича. – М.:Физкультура и Спорт, 1989. – 320с.
2. Хилл, А. Механика мышечных сокращений / А. Хилл. – М. : Мир, 1972. – 176 с.
3. Сальченко, И.Н. Двигательные взаимодействия спортсменов / И.Н. Сальченко. – Киев: Здоров'я, 1980. – 112 с.
4. Сотский, Н.Б. Биомеханика / Н.Б. Сотский; Бел. гос. ун-т физ. культуры. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн.: БГУФК, 2005. – 192 с.
5. Шушкевич, В.И. Основы электротензометрии / В.И. Шушкевич. – Мн. : - «Высшая школа», 1975. – 325 с.
6. Коренберг, В.Б. Качественный биомеханический анализ / В.Б. Коренберг. – М. : «Наука спорту», 2003. – 218 с.
7. Михеев, А.А. Биологические основы дозированной вибрационной тренировки спортсменов (монография) / А.А. Михеев. – Мн. : БГУФК, 2006. – 240 с., ил.
8. Благуш, П. К теории тестирования двигательных способностей / П. Благуш. – М. : «Физкультура и спорт», 1982. – 165 с., ил.
9. Сборник научных статей. Вопросы физического воспитания студентов вузов / Зайцев, И.Ф. Динамометрическое устройство для определения силовых показателей мышц кистей рук / И.Ф.Зайцев, А.А. Пильневич. Выпуск 4.- Мн. : БГЛУ, 2005.

## Методы (технологии) обучения

Основными методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на практических занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, «мозговой штурм» и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях;
- проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсового проекта.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины, направлено на освоение студентами основ инновационных технологий, развитие навыков анализа и самостоятельности в принятии нестандартных решений в будущей инженерной деятельности и на умение работать с научной и технической литературой.

### Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа, в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий, под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями преподавателя;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- подготовка курсового проекта по индивидуальным заданиям.

### Средства диагностики

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный опрос во время практических занятий;
- проведение текущих контрольных (заданий) по отдельным темам;
- защита выполненных на практических занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках управляемой самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;



- 
- защита курсовой работы;
  - сдача экзамена.

**Критерии оценки результатов учебной деятельности**

<b>Баллы</b>	<b>Критерии оценки</b>
<b>незачет</b>	Недостаточно полный объем знаний в рамках дисциплины; знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины; использование ненаучной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными ошибками; слабое владение инструментарием учебной дисциплины, неумение ориентироваться в основных теориях, методах и направлениях дисциплины; низкий уровень культуры исполнения заданий.
<b>зачет</b>	Достаточный объем знаний в рамках дисциплины; усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины; использование научной терминологии, логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок; владение инструментарием учебной дисциплины, умение ориентироваться в основных теориях, методах и направлениях дисциплины и давать им оценку; допустимый уровень культуры исполнения заданий.

### Примерный перечень тем практических занятий

1. Построение структурных и функциональных схем технических устройств и оборудования для различных видов спорта, профессионально-прикладной физической подготовки, физической и профессиональной реабилитации.
2. Оборудование для исследования биомеханических параметров двигательных действий спортсменов.
3. Оборудование для электромиографических исследований двигательных действий.
4. Тренажеры-стимуляторы биомеханические для мышц нижних конечностей и туловища, для мышц плечевого пояса, мышц предплечья и кистей рук, для мышц лица шеи и головы.
5. Электротензометрия, расчет тензоэлектрических датчиков и преобразователей.
6. Тензометрические платформы и их использование при исследовании двигательной деятельности.
7. Функции оператора в системе «человек-машина».
8. Выбор частоты стробирования и количества уровней квантования в аналого-цифровых преобразователях при исследовании силовых проявлений в движениях человека.
9. Составление структурных и функциональных схем преобразователей «время-код» и «частота-код» при исследовании биомеханических показателей движений.
10. Технические средства в диагностике двигательных способностей спортсменов.
11. Оборудование для эксплуатационных испытаний спортивной техники.

### Примерное содержание курсовой работы

Курсовая работа выполняется по теме «Оборудование для тренировки спортсменов» в избранном виде спорта.

Выполнение заданий по курсовой работе должно способствовать приобретению навыков в выборе и определении конструкции специального оборудования, используемого в тренировочном процессе.

Задание предусматривает анализ специфики избранного вида спорта, его биомеханические и физиологические аспекты, а также структуру подготовленности спортсменов.

Предметный поиск, выбор и обоснование конструктивных особенностей анализируемого тренировочного оборудования, выбор путей совершенствования его конструкции. Составление структурных и функциональных схем выбранного оборудования, а также чертежей отдельных узлов и элементов.

### Примерная тематика рефератов

1. Измерение показателей силовых проявлений в различных видах спорта.
2. Исполнительные элементы устройств и оборудования для тренировки спортсменов в силовых и скоростно-силовых видах спорта.
3. Функции оператора в системе «человек-машина».

### Примерный перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Тренировочное приспособление, тренировочное устройство, тренажерное устройство.
2. Эксплуатационные характеристики, конструктивные особенности спортивной техники и оборудования.
3. Механика мышечных сокращений.
4. Основной закон мышечных сокращений. (закон Хилла)
5. Формирование двигательных действий человека.
6. «Искусственная управляющая среда». (понятие, принципы ее создания)
7. Устройства и оборудование для силовых и скоростно-силовых видов спорта.
8. Устройства и оборудование для циклических видов спорта.
9. Устройства и оборудование в единоборствах.
10. Устройства и оборудование для спортивных игр.
11. Устройства и оборудование для сложно-координационных видов спорта.
12. Элементы тренировочного оборудования и динамические звенья.
13. Преобразование неэлектрических величин в электрические.
14. Тензометрические платформы и их использование при исследовании двигательных действий человека.
15. Исполнительные элементы на основе электродвигателей с независимым возбуждением.
16. Исполнительные элементы на основе электродвигателей с параллельным и последовательным возбуждением.
17. Электродвигатель в заторможенном режиме.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА**  
очная форма получения высшего образования  
Специальность 60 02 01

Но ме р р а з д е л а , т е м ы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Ко лич е ст во час ов УС Р	Фор мы конт роля знан ий
		лекц ии	П р а к т и ч е с к и е за н я т и я	се м ин ар ск ие за ня ти я	Ла бо ра то рн ые за ня ти я	и н о е		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Спортивная техника и технические средства физической культуры и спорта. Понятия, классификации	2						контр ольны й опрос
2.	Основные свойства технических средств, используемых в спортивной тренировке	6	4					контр ольны й опрос
3	Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена	4						контр ольны й опрос
4.	Организация и управление двигательной деятельностью	4	4					контр ольны й опрос
5	Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы	4	4					контр ольны й опрос
6.	Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека	2						контр ольны й опрос
7.	Функциональные элементы технических устройств	4	4					контр ольно е тести рован ие

8.	Технические средства как элементы систем автоматического регулирования	4	4					контрольное тестирование
9.	Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и физической культуре	4	2					контрольное тестирование
	Всего	34	18					

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА**  
очная форма получения высшего образования  
специальность 1- 60 02 02

Но мер раз дела, темы	Название раздела, темы;	Количество аудиторных часов					К о л и ч е с т в о ч а с о в У С Р	Фор мы конт роля знаний
		лекц ии	Пр акт иче ски е	се ми на рс ки е за ня ти я	Ла бо рат ор ны е зан яти я	и н о е		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Спортивная техника и технические средства физической культуры и спорта. Понятия, классификации	2						контр ольн ый опрос
.2.	Основные свойства технических средств спортивной тренировки	2	6					контр ольн ый опрос
3	Характеристика нервно-мышечной системы спортсмена	2						контр ольн ый опрос
4.	Организация и управление двигательной деятельностью	2	4					контр ольн ый опрос
5	Биомеханические показатели двигательных действий. Биометрические сигналы	2	6					контр ольн ый опрос
6.	Условия максимальной реализации двигательных возможностей человека	2	4					контр ольн ый опрос
7.	Функциональные элементы технических устройств	2	6					контр ольно е тести рован ие
8.	Технические средства как элементы систем автоматического регулирования	2	4					контр ольно е

							тести рован ие
9.	Технические средства стимуляции биологической активности человека в спортивной тренировке и физической культуре	2	4				контр ольно е тести рован ие
	Курсовая работа						Защит а курсов ой работ ы
	<b>В с е г о аудиторных часов</b>	<b>18</b>	<b>34</b>				