

4511.54

У847

В. Л. УТКИН

ИЗМЕРЕНИЯ В СПОРТЕ

(введение в спортивную метрологию)

Москва 1978

7511.54

У847

Учебное пособие по спортивной метрологии для слушателей Высшей школы тренеров, факультета усовершенствования и факультета повышения квалификации.

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии рассказывается о современных методах контроля за состоянием спортсменов и лиц, занимающихся массовыми формами физической культуры. Пособие помогает ответить на вопросы:

- 1) для чего нужны спортивные измерения?
- 2) как проводить спортивные измерения?

Оба эти вопроса, образно говоря, лежат на острие спирали, по которой физическая культура и спорт ввинчиваются в будущее.

Рост рекордных достижений в спорте происходит не только потому, что в спорт приходят люди-феномены, наделенные педожиными способностями. Одной из главных причин роста рекордов является происходящая на наших глазах научно-техническая революция в спорте. Можно привести десятки примеров того, как прогресс в электронике, химии, теории управления и других областях науки и техники позволил значительно улучшить спортивный инвентарь, условия и методы тренировки. При этом ни для кого не секрет, что в большом спорте конкуренты тотчас берут на вооружение любое новшество, способствующее повышению спортивного результата. Именно поэтому сегодня особое значение приобретает оснащение спорта средствами современной техники — новейшим спортивным инвентарем и измерительными приборами для обучения спортсмена и для контроля за состоянием его организма.

Не менее важно методически перевооружить массовые формы физического воспитания, от чего в значительной степени зависит здоровье и работоспособность широких слоев населения. Те, кто занимается физкультурой ради отдыха, бодрости и здоровья, должны владеть основами спортивных измерений как средством контроля за состоянием организма и тренировочными нагрузками. Поэтому, говоря для краткости «спортсмен», «тренер», мы имеем в виду всех, кто в той или иной форме занимается физическими упражнениями или контролирует состояние здоровья занимающихся.

Многие спортсмены и тренеры прекрасно понимают, что способы тренировки, основанные только на самочувствии спортсмена и интуиции тренера, бесперспективны. Можно сказать, что физическое воспитание и спорт стоят сейчас перед качественно новым этапом своего развития, когда на помощь тренеру готов придти «электронный помощник», который, безусловно, не способен заменить тренера, но может значительно расширить диапазон его возможностей. Но использовать современные методы исследования и обучения спортсменов нельзя без специальной подготовки. В неумелых

руках и математика, и электроника не только бесполезны, но часто могут принести вред почти в той же степени, как и неумелое применение лекарств.

На сегодняшний день в литературе нет книги, которая содержала бы систематическое изложение сведений по теории и технике измерений в спорте. Существующие пособия либо затрагивают частные вопросы спортивных измерений, либо рассматривают вопросы медицинских измерений и не учитывают особенностей спортсмена как объекта исследований. Все это вместе взятое и вызвало к жизни настоящее учебное пособие.

Первые главы пособия посвящены общим вопросам и принципам спортивных измерений. Их значение можно сравнить со значением стратегического планирования военных операций. Как нельзя идти на штурм крепости не имея четкого плана атаки, так и к исследованию спортсмена, совершеннейшего создания природы, нельзя приступать без ясного понимания стратегии предстоящего исследования.

В последующих главах говорится о технике измерений, о современной аппаратуре для добывания и автоматической обработки результатов измерений. Собранные здесь сведения составляют «тактику боя».

Заключительная глава рассказывает о том, каким образом методы измерений могут облегчить и ускорить обучение спортсмена двигательным навыкам. Такой на первый взгляд неожиданный переход от методов контроля за состоянием спортсмена к методам обучения на самом деле вполне закономерен по двум причинам. Во-первых, в спорте всякий измерительный прибор, если он удачно сработан, уже является тренажером. А во-вторых, целенаправленное формирование спортивного мастерства и объективный контроль за его уровнем составляют две стороны единого процесса воспитания спортсмена.

Ввиду невозможности подробно останавливаться на всех затрагиваемых вопросах, каждая глава снабжена списком литературы.

Чтение и освоение пособия не требует специальных знаний по метрологии, математике, физике или технике, равно как и по биомеханике, физиологии и другим биологическим наукам. С помощью Т. В. Уткиной было установлено, что основной материал пособия доступен пониманию учеников 6-го класса средней школы. Все сложные вопросы по возможности излагаются простым языком. Принцип «доступно и точно о главном» лег в основу пособия, адресуемого прежде всего практическим работникам спорта. И если пособие станет добрым помощником спортсмена, тренера, преподавателя и вообще специалиста, связавшего свою жизнь и деятельность

с физической культурой и спортом, автор сочтет свою задачу выполненной.

Основой пособия послужили лекции по спортивной метрологии, которые автор читает тренерам, преподавателям и студентам институтов физической культуры. Их настойчивый вопрос: «А что можно почитать в дополнение к Вашим лекциям?» и невозможность вразумительно ответить на этот вопрос заставили автора взяться за перо. Но довести эту работу до конца без помощи своих сотрудников и друзей автору было бы не под силу.

По просьбе автора А. И. Хомутова отредактировала отдельные главы рукописи. В. В. Зайцева, А. М. Комарова, Н. В. Осипова и Г. Е. Яльцева выполнили титанический труд по оформлению рукописи. Готова рукопись к печати, автор пользовался советами директора Высшей школы тренеров В. В. Варюшина, заведующей библиотской К. Ф. Булатовой и сотрудников методического кабинета ГЦОЛИФКа А. С. Моргуновской, Н. Д. Масленниковой и И. А. Дубновой. Книгу украсили иллюстрации и экспериментальные данные, которые предоставили В. И. Бондин, В. К. Буллер, А. И. Головачев, А. Ю. Гурьев, Г. М. Ефремов, С. Я. Женин, В. А. Заикин, Л. С. Зайцева, М. А. Каймин, В. Н. Комаров, Т. П. Лазаренко, И. К. Мекибель, В. М. Перлов, В. Г. Пивоваров, В. Н. Селуянов, Е. П. Суханов, А. П. Ткачук, В. В. Тюпа и Т. В. Холщевникова. Некоторые из обсуждаемых теоретических положений и методических приемов родились в результате сотрудничества автора со специалистами по клинической и спортивной медицине — профессором В. Л. Карпманом, профессором А. Л. Сыркиным, И. Н. Иванецкой, И. Е. Колесниченко, Л. Н. Марковым и А. И. Стукловым. Кругозор автора в области биомеханики, биохимии, метрологии, радиотехники, математики, вычислительной техники и теории физического воспитания значительно расширили беседы с профессором Д. Д. Донским, профессором И. П. Ратовым, Ю. Г. Моисеевым, А. К. Орловым, Л. М. Райциным, Ю. И. Смирновым, Б. А. Суслаковым, В. П. Уткиной, Л. П. Уткиным, С. Л. Уткиным, В. Д. Чепиком и В. Н. Черемисиновым. Профессор Д. Д. Донской, кроме того, взял на себя труд первого рецензента рукописи. И поистине бесценна помощь профессора В. М. Зацюрского, беседы и сотрудничество с которым служат для автора постоянным источником роста профессионального мастерства.

Всем названным товарищам — сердечная благодарность автора.

ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Наука об измерениях в спорте — спортивная метрология является новым разделом науки. Возникновение и развитие спортивных измерений связано с необходимостью получать точные данные о состоянии спортсменов и лиц, занимающихся массовыми формами физической культуры.

Спортивная метрология — очень молодая наука. Ее история неотделима от истории биомеханики, физиологии, биохимии и психологии спорта, спортивной медицины, спортивной педагогики, спортивной электроники. «Все, что мы знаем о реальности, исходит из опыта и завершается им» — эти слова А. Эйнштейна прямо относятся к физической культуре и спорту. И, поскольку наиболее надежным способом получения опытных данных является измерение, в каждом разделе спортивной науки разрабатываются методы измерений. Спортивная метрология призвана стандартизировать эти методы и создать единую методологию* спортивных измерений.

Спортивная метрология развивается и как научная, и как учебная дисциплина. Преподавание отдельных разделов спортивной метрологии проводится во многих странах — в Венгрии, Чехословакии, Польше, ГДР, США, Болгарии, Франции и ряде других. Начиная с 1974 года, в институтах физической культуры нашей страны преподается курс биометрии (биофизических измерений в спорте) — В. Л. Утин (1974-77). В ближайшем будущем этот курс должен перерасти в новую учебную дисциплину — спортивную метрологию.

Перед спортивной метрологией стоят сложные задачи:

- 1) изучение особенностей спортсмена как объекта измерений;
- 2) формирование понятийного и математического аппарата;
- 3) выработка принципов спортивных измерений;
- 4) разработка методов контроля за состоянием человека, выполняющего физические упражнения;
- 5) создание специальной измерительной аппаратуры.

* Методология — учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности (БСЭ, 1974, т. 16, 482). И. В. Блауберг и Э. Г. Юдин (1973) предлагают общую схему уровней методологии. Первый уровень — философская методология, или общие принципы познания. Второй уровень — общие принципы и формы исследований. Третий уровень методологии — конкретно-научная методология, т. е. совокупность принципов и методов исследования, применяемых в той или иной специальной дисциплине. И, наконец, четвертый уровень методологии образуют методика и техника исследования, обеспечивающие получение достоверного экспериментального материала.

Для решения этих задач спортивная метрология использует достижения различных отраслей знания. Заметную роль в ее формировании играют:

— медико-биологические дисциплины (анатомия, физиология, медицина, биофизика, биомеханика спорта, биохимия) и психология;

— спортивно-педагогические дисциплины (теория спортивной тренировки, теория и методика отдельных видов спорта, спортивная педагогика);

— физико-математические и технические дисциплины (математика, физика, теория управления, радиотехника, вычислительная техника);

— дисциплины, разрабатывающие методы научного исследования (метрология, тестология, квалиметрия, теория эксперимента).

Взаимосвязь спортивных измерений с перечисленными научными дисциплинами иллюстрирует рис. 1. По отношению к

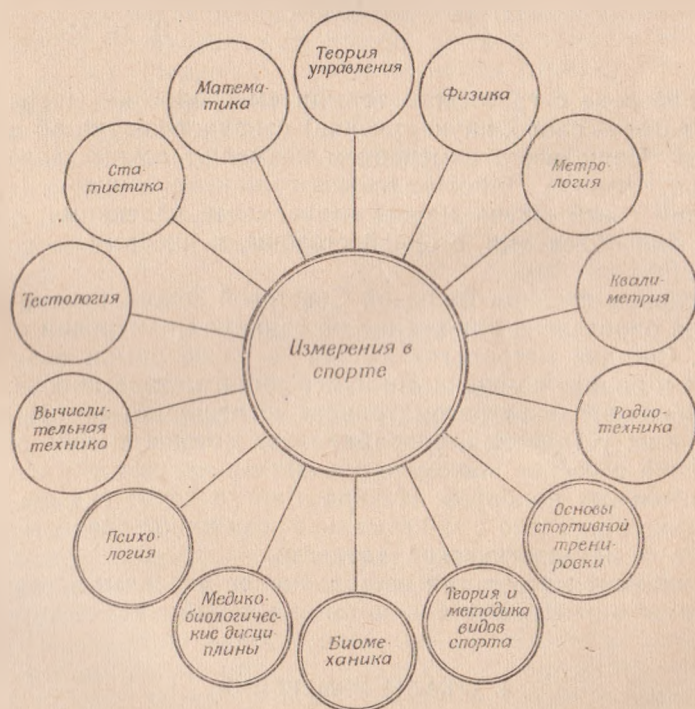


Рис. 1. Связь спортивных измерений с другими научными дисциплинами.

медико-биологическим и спортивно-педагогическим наукам спортивная метрология играет служебную роль и вместе с тем использует добытый ими фактический материал. Остальные науки (их названия обведены на рис. 1 одинарной линией) лишь «наполняют» собой спортивную метрологию, составляя часть ее содержания.

Спортивная метрология еще не сформировалась окончательно. Но уже сегодня в ней отчетливо вырисовываются два самостоятельных и взаимосвязанных раздела — теория измерений и техника измерений. Первую часть пособия, где рассматриваются основы теории спортивных измерений, начнем с введения в науку об измерениях — метрологию.

ГЛАВА I. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры.

Д. И. Менделеев

В переводе с греческого термин «метрология» (metron — мера, логос — слово, наука, учение) означает «наука об измерениях». Чаще всего измерением называют осуществляемую по определенным правилам операцию, заключающуюся в установлении соответствия между изучаемыми явлениями, событиями или объектами, с одной стороны, и числами — с другой (Л. 1—6, 16).

В первом издании Большой Советской Энциклопедии метрология определена как учение об единицах измерения и эталонах. Сегодня метрология вышла за узкие рамки «науки о мерах» и наряду с единицами измерений и методами создания и хранения эталонов рассматривает погрешности измерений и способы их устранения, разрабатывает методы высокоточных измерений и особое внимание уделяет проверке и калибровке измерительных приборов. Недаром, когда хотят сказать, что измерение проведено с максимально-возможной точностью, то говорят о метрологической точности.

Фундамент метрологии составляют ее разделы, посвященные шкалам измерений, единицам измерений и точности измерений.

I. ШКАЛЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Человек становится объектом измерений с раннего детства. У едва родившегося ребенка измеряют рост, вес, температуру тела, продолжительность сна и т. д. Позже, в школьном

возрасте в число измеряемых переменных включаются знания и навыки человека. Чем взрослее человек, чем шире круг его интересов, тем многочисленнее и разнообразнее характеризующие его переменные. И тем сложнее осуществить точные измерения. Как, например, точно измерить выразительность движений, степень утомления, ловкость, уровень теоретической подготовленности, тактическое мастерство и десятки других величин, единицы измерения которых не определены?

Существенную помощь при спортивных (а также психологических, педагогических, социологических и т. п.) измерениях оказывает представление о шкалах измерений. **Шкалой измерения** называется принятая по соглашению последовательность значений одноименных величин различного размера (Л. 1—16, 17, 23). Шкала измерений как раз и является тем инструментом, посредством которого устанавливается соответствие между характеристиками изучаемых объектов и числами.

Объектами измерения становятся сотни различных величин, обладающих неодинаковыми свойствами (сравните, например, рост человека, суставной угол, знания по математике, красоту движений и полевой номер игрока). Поэтому и шкалы измерений разнообразны. Приступая к измерениям, необходимо знать, по шкале какого типа должна измеряться интересующая нас величина и какие математические процедуры можно применять к величинам, измеренным по различным шкалам. Мы рассмотрим четыре типа шкал: шкалу наименований, шкалу порядка, шкалу интервалов и шкалу отношений.

Шкала наименований

Самая простая из всех. В этой шкале числа, а также буквы или другие условные обозначения выполняют роль ярлыков и служат для обнаружения и различения изучаемых объектов. Например, шкала нумерации игроков футбольной команды (1, 5, 2, 3, 4, 6, 10, 7, 8, 9, 11, 14) позволяет опознать каждого игрока.

Числа, составляющие шкалу наименований, разрешается менять местами. И, если без ущерба для точности измерений, значения измеряемой переменной можно менять местами, то эту переменную следует измерять по шкале наименований. По шкале наименований измеряются: количество спортсменов разных специализаций (равно и людей с различными профессиями, интересами и т. п.), количество событий, возникающих в процессе спортивного поединка и вообще количе-

При измерении по шкале наименований разрешены математические процедуры, предназначенные для анализа случайных событий (Л. 1—8, 12, 14, 15) и в том числе:

— идентификация, т. е. отыскание на шкале числа, которому соответствует изучаемый объект либо установление тождественности двух объектов;

— построение гистограммы — графика зависимости между наименованиями изучаемых событий и частотой их появления;

— вычисление моды, или, другими словами, выявление объекта, который встречается чаще других;

— упрощенная оценка степени взаимовлияния двух объектов путем сравнения их гистограмм по критерию χ^2 (Л. 1—8, 23).

Шкала порядка

Возникает в том случае, когда составляющие шкалу числа упорядочены по рангам, но интервалы между рангами нельзя точно измерить. Например, знания учащегося оценивают по шкале: «плохо» — «удовлетворительно» — «хорошо» — «отлично». В отличие от шкалы наименований, шкала порядка позволяет не только установить факт равенства или неравенства измеряемых объектов, но и определить характер неравенства в качественных понятиях: «больше — меньше», «лучше — хуже», «реже — чаще» и т. п. Однако на вопросы типа «на сколько больше?», «на сколько лучше?» — шкала порядка ответа не дает.

С помощью шкал порядка удается осуществить измерение качественных, не имеющих строгой количественной меры показателей. Именно поэтому большая часть шкал, используемых гуманитариями, — это шкалы порядка. По шкале порядка измеряют знания, умственные способности, интенсивность ощущений, красоту, выразительность движений, артистизм, морально-волевые качества, коллективизм и многие другие традиционно качественные показатели. По шкале порядка измеряют также успешность выступления спортсмена в тех видах спорта, где успех определяется занятым местом, а не показанным результатом. Существует и формальный прием для выявления таких показателей: если из соображений точности измерений значения некоторой переменной на шкале нельзя менять местами, но можно, например, возводить в квадрат, то измерять этот показатель следует по шкале порядка.

Для обработки экспериментальных данных, собранных по шкале порядка, пригодны все разрешенные для шкалы наименований математические процедуры и, кроме того (табл. 1):

— установление знака неравенства измеренных величин (больше или меньше);

— вычисление **медианы** — числа на шкале, разделяющего пополам область возможных значений измеряемой величины (Л. 1—14); например, если спортсмен занимал на соревнованиях места с первого по пятое, то медиана его результатов равна $\frac{1+5}{2} = 3,0$;

— оценка вариативности изучаемой величины по таблицам сентилей, децилей и квартилей (Л. 1—7, 23); например, при исследовании группы испытуемых I сентиль — оценка, которую превзошли 99% испытуемых; 1 дециль — оценка, которую превзошли 90% испытуемых, и 1 квартиль — оценка, которую превзошли 75% испытуемых;

— оценка степени взаимосвязи изучаемых переменных путем расчета рангового коэффициента корреляции по Кендаллу или по Спирмену (Л. 1—8, 26, 29, 11—13).

Шкала интервалов

Это такая шкала, в которой числа не только упорядочены по рангам, но и разделены определенными интервалами. В отличие от шкалы наименований и шкалы порядка, шкала интервалов (равно как и шкала отношений) позволяет оценивать измеряемую величину количественно, сравнивая ее с каким-то эталоном. Особенность шкалы интервалов, отличающая ее от шкалы отношений, состоит в том, что нулевая точка в шкале интервалов выбирается произвольно.

Представление о шкале интервалов легче всего получить на примере шкал, применяемых для измерения температуры. Как известно, температуру с равным успехом можно измерить по шкале Цельсия, нулевая точка которой (0°C) соответствует температуре таяния льда, и по шкале Кельвина, в которой нулевая точка лежит на уровне абсолютного нуля температур (0° по Цельсию соответствует +273° по Кельвину)*.

По шкале интервалов измеряют все количественные переменные, не имеющие однозначно-определенной нулевой точки отсчета (суставной угол, температура, календарное время), а также качественные переменные, которые удалось охарактеризовать количественно (найти эталоны или изобрести операции, уравнивающие единицы шкалы — см., например, Л. 1—23).

* наименование «градус Цельсия» дано в честь шведского астронома и физика А. Цельсия (1701—1744), а «градус Кельвина» — в честь английского физика Уильяма Томсона-Кельвина (1773—1852).

Результаты измерений по шкале интервалов можно обрабатывать всеми математическими методами (табл. 1), кроме вычисления отношений. Дело в том, что отсчитанные по шкале интервалов данные дают ответ на вопрос «на сколько больше?», но не позволяют утверждать, что одно значение измеряемой величины во столько-то раз больше или меньше другого. Например, если температуру измеряли дважды и получили: $t_1=27^{\circ}\text{C}=300^{\circ}\text{K}$, $t_2=54^{\circ}\text{C}=327^{\circ}\text{K}$, то по шкале Цельсия t_2 вдвое больше, чем t_1 , а по шкале Кельвина t_2 больше, чем t_1 , всего в 1,09 раза.

Со шкалами интервалов связаны многие еще не решенные задачи спортивной практики. К какому типу относятся, например, шкалы, используемые для оценки спортивного мастерства в гимнастике и фигурном катании? По формальным признакам их нельзя отнести ни к шкалам наименований, ни к шкалам порядка. Но и шкалами интервалов, строго говоря, их не назовешь, поскольку суждение по действующим правилам не лишено субъективизма и интервалы на шкалах не определены строго однозначно. В особенности это относится к оценкам, выставляемым за «художественность исполнения упражнений» и артистизм.

Сложная и увлекательная задача конструирования измерительных шкал все больше привлекает к себе внимание специалистов по физической культуре и спорту (Л. I—25, II—40). Стремясь к точности измерений, стараются превратить шкалы порядка в шкалы интервалов, а шкалы интервалов — в шкалы отношений.

Шкала отношений

Отличается от шкалы интервалов только тем, что в ней строго определено положение нулевой точки. Благодаря этому шкала отношений не накладывает никаких ограничений на математический аппарат, используемый для обработки результатов измерений.

В спорте по шкале отношений измеряют скорость, ускорение, силу, момент силы, импульс силы, массу, момент инерции и десятки других переменных. По шкале отношений измеряют и те величины, которые образуются как разности чисел, отсчитанных по шкале интервалов. Так, календарное время измеряется по шкале интервалов, а интервалы времени — по шкале отношений. Аналогично потенциал электрического поля должен измеряться по шкале интервалов, поскольку понятие нулевого потенциала всегда условно. Но разность потенциалов, регистрируемая при электрокардиографическом или электромиографическом исследовании спортсмена, может отсчитываться по шкале отношений.

Математические процедуры, разрешенные (+) и не разрешенные (—) при обработке результатов, полученных при измерении по различным шкалам.

Шкала	Математические процедуры*													
	идентификация	установление знака неравенства (больше—меньше)	вычисление отношений	определение закона распределения вероятностей	вычисление показателей центральной тенденции			Вычисление показателей вариативности		оценка степени связи между переменными				
					мода	медиана	среднее арифметическое значение	квантили	дисперсия	критерий χ^2	коэффициент φ	коэффициент ранговой корреляции Кендалла	коэффициент ранговой корреляции Спирмена	коэффициент корреляции Пирсона
наименований	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+	+	—	—	—
порядка	+	+	—	+	+	+	—	+	—	+	+	+	+	—
интервалов	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
отношений	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

* Разрешенные процедуры обозначаются значком +, не разрешенные — значком —; таблица составлена в предположении, что обе переменные измеряются по однотипным шкалам; способы исследования корреляций между переменными, измеренными по шкалам разных типов, рассмотрены в Л. II—13.

II. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Используя шкалу интервалов или шкалу отношений, мы узнаем, насколько измеряемая величина больше или меньше эталонной величины — единицы измерения.

1. Основные, производные и внесистемные единицы измерения

Ввиду многообразия единиц, используемых для измерения одних и тех же переменных (метр — сантиметр — километр или секунда — минута — час и т. д.), условились некоторые из них считать основными. Основными единицами измерения называются единицы, величины которых равны специальным образцам — эталонам, хранящимся в государственных метрологических учреждениях.

Выбрав несколько основных единиц, можно вводить связанные с ними **производные** единицы измерения, уже не выбирая специального эталона для каждой из них. Производные единицы измерения могут быть получены из основных путем несложных арифметических преобразований. Например, единица длины (метр) и единица времени (секунда) — основные единицы, а единица измерения скорости (метр в секунду) — производная.

Основные единицы измерения имеют определенный смысл и небезинтересную историю. Так, метр и килограмм обязаны своим рождением Великой французской революции. Одним из первых ее декретов стал декрет о введении метрической системы измерений. В 1875 году была подписана международная «Метрическая конвенция» и отошли в прошлое русские версты и фунты, китайские ли и т. д. На сегодняшний день Госстандартом СССР утверждено около ста Государственных эталонов единиц измерения.

Основные и производные единицы измерений образуют системы единиц (Л. 1—3, 11, 20, 21). Систем единиц несколько: физическая (СГС), техническая (МКСС)*, международная (СИ), и друг от друга они отличаются прежде всего перечнем основных единиц.

Кроме единиц, входящих в определенную систему, часто применяют единицы измерения, не относящиеся ни к одной из систем. Примерами таких **внесистемных** единиц могут служить час, минута, тонна, км/час, калория, лошадиная сила и т. д.

В 1961 году было решено использовать систему СИ (систему интернациональную) для всех измерений, проводимых на

* Названия систем СГС и МКСС составлены начальными буквами основных единиц каждой системы: СГС — сантиметр, грамм, секунда; МКСС — метр, килограмм силы, секунда.

территории нашей страны,— ГОСТ 9867-61. Основные и важнейшие производные единицы системы СИ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Важнейшие единицы измерения в системе СИ.

Измеряемая величина	Наименование единицы	Сокращенное обозначение единицы	Символическое обозначение единицы	Связь с основными единицами
Длина	метр	м	L	м
Масса	килограмм	кг	M	кг
Время	секунда	с	T	с
Сила электрического тока	ампер	а	I	а
Температура	градус Кельвина	К°	Q	К°
Сила света	свеча	св	J	св
Сила	ньютон	н	LMT^{-2}	$мкгс^{-2}$
Импульс силы	ньютон-секунда	н · с	LMT^{-1}	$мкгс^{-1}$
Момент силы	ньютон-метр	н · м	L^2MT^{-2}	$м^2кгс^{-2}$
Момент инерции	килограмм на метр в квадрате	$м^2 · кг$	L^2M	$м^2кг$
Работа Энергия	джоуль	дж	L^2MT^{-2}	$м^2кгс^{-2}$
Мощность	ватт	вт	L^2MT^{-3}	$м^2кгс^{-3}$
Давление	ньютон на квадратный метр	$н/м^2$	$L^{-1}MT^{-2}$	$м^{-1}кгс^{-2}$
Электрический потенциал	вольт	в	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	$м^2кгс^{-3}а^{-1}$
Электрическое сопротивление	ом	ом	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	$м^2кгс^{-3}а^{-2}$
Электрическая емкость	фарада	ф	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	$м^{-2}кг^{-1}с^4а^2$

2. Некоторые важные единицы измерения

Основные единицы системы СИ позволяют измерить массу, длину, временной интервал, силу электрического тока, температуру и силу света (Л. 1—3). Все прочие биомеханиче-

ские, физиологические, биохимические и другие переменные измеряются с помощью производных единиц. Кроме того, в силу традиции, в научных исследованиях и в спортивной практике часто используют единицы измерения, не относящиеся ни к системе СИ, ни к какой-либо другой системе единиц измерения. Например, интенсивность физической нагрузки по традиции измеряют в килограммометрах в минуту.

Единая система единиц измерения призвана облегчить чтение научной литературы и устранить трудности, часто возникающие при сопоставлении данных, полученных разными исследователями. Но, к сожалению, переход к единой системе единиц оказался нелегким делом и не завершён до сих пор. Интересно, что аналогичные проблемы возникают и в других странах. Так, выдающийся английский физиолог А. Хилл пишет по этому поводу следующее: «Недавно Королевское общество рекомендовало всем научным и техническим журналам принять новую международную систему единиц, называемую системой СИ. Первоначально я намеревался придерживаться этой рекомендации в своей книге. Однако я воздержался от этого, когда представил себе те затруднения, с которыми встретится читатель..., поскольку... во всех опубликованных работах, на которые даются ссылки в этой книге, величины приводятся в старых единицах» (Л. I—22).

Всвязи со сказанным, мы, наряду с основными и производными единицами системы СИ, рассмотрим и применяемые в спортивных измерениях внесистемные единицы измерения. Будут рассмотрены единицы измерения кинематических и динамических характеристик движения, единицы работы, мощности, теплоты, давления и электрического потенциала.

Единицы измерения кинематических характеристик движения

К кинематическим характеристикам движения относятся перемещение, траектория, скорость, ускорение, темп, ритм и продолжительность движения (Л. I—5). Кинематические характеристики количественно определяют внешнюю, доступную глазу картину движения. Они имеют первоочередное значение в гимнастике, фигурном катании, прыжках в воду и других видах спорта, где оцениваются артистизм и эстетичность движений. Именно кинематические характеристики при правильном их использовании позволяют преобразовать шкалы порядка, по которым оценивается внешняя картина движений, в шкалы интервалов и даже в шкалы отношений. В других видах спорта (циклических, игровых, единоборствах) кинематика движений также играет важную роль, обеспечивая рациональную биодинамику движений и тем самым — достижение высокого результата.

Кинематические характеристики поступательного движения отличаются от кинематических характеристик вращательного движения; различны и их единицы измерения.

При измерении **линейных перемещений** наряду с основной единицей системы СИ — метром (м) применяют: километр (км) = 1000 м, дециметр (дм) = 0,1 м, сантиметр (см) = 0,01 м, миллиметр (мм) = 0,001 м = 10^{-3} м, а также микрон (μ) = 10^{-6} м и ангстрем (А°) = 10^{-10} м. В литературе на английском языке можно встретить и такие единицы: миля = 1609,34 м; фут = 30,48 см; дюйм = $1/12$ фута = 2,54 см*.

При измерении **углов и угловых перемещений** пользуются принятым еще в древней Вавилонии делением окружности на 360° . Единицей углового перемещения служит градус (1°), а также минута ($1' = 1/60$ градуса) и секунда ($1'' = 1/60$ минуты)**.

Другая распространенная единица углового перемещения — радиан. Радиан (рад.) это угол, опирающийся на дугу окружности, длина которой равна радиусу. В окружности 5,28 радиан, или 360° , откуда следует, что $1 \text{ рад.} = 57^\circ 18'$, и, наконец, иногда удобно измерять угловые перемещения числом оборотов — еще один пример внесистемной единицы измерения. Очевидно, что 1 оборот равен 360° .

Для измерения **времени** помимо основной единицы — секунды (с) используются связанные с ней единицы: минута (мин.) = 60 с, миллисекунда (мс) = 10^{-3} с, микросекунда (мкс) = 10^{-6} с, наносекунда (нс) = 10^{-9} с. В секундах и в долях секунды измеряется как **продолжительность всего движения**, так и продолжительность отдельных его частей («фаз»). Соотношение длительностей фаз движения составляет **ритм движения**. Например, ударное действие теннисиста состоит из 5-ти фаз (рис. 21), длительности которых обозначим t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 . Ритм такого движения определяется как $R = t_1 : t_2 : t_3 : t_4 : t_5$.

При изучении периодически повторяющихся — «циклических» процессов важно знать период процесса, т. е. длительность интервала времени между одинаковыми фазами процесса. Часто вместо периода (Т) употребляют **частоту** повторения, или просто «частоту» (f) и измеряют ее в герцах (гц). 1 гц — частота процесса, период которого равен одной секунде. Частота и период связаны между собой простым соотношением $f = 1/T$. Зная частоту периодических колебаний, легко найти их период и наоборот. Например, если частота

* С мерами длины тесно связаны меры площади и объема. Площадь измеряется в квадратных метрах (м^2), квадратных сантиметрах и т. д., а объем — в кубических единицах.

** Секунду (с) и минуту (мин) — единицы времени — не следует путать с секундой (") и минутой (') — единицами углового перемещения.



электрического тока равна 50 гц, то его период равен $1/50$ части секунды, или 20 мс.

В спортивной и медицинской практике частоту циклических процессов измеряют числом повторений процесса в одну минуту и используют при этом внесистемную единицу измерения 1/мин. Например, в циклических видах спорта говорят: «темп бега 150 шагов в минуту» или «темп гребли 30 гребков/мин.» и т. п., а в отчетах о физиологическом и медицинском исследовании спортсменов можно прочесть: «частота сердечных сокращений 60 уд/мин.» или «частота дыхания 20 1/мин»*.

Единицы измерения скорости образуются путем деления единиц перемещения на единицы времени, а единицы ускорения — путем деления единиц скорости на единицы времени. **Линейная скорость** измеряется в м/с, **линейное ускорение** — в м/с². Единицей измерения угловой скорости служит град/с, а **углового ускорения** — град/с² или рад/с².

Единицы измерения динамических характеристик движения

Динамические характеристики дают представление о причинах возникновения движений, об их глубинных механизмах. Динамические характеристики движения делятся на инерционные и силовые. К **инерционным** относятся масса (при поступательном движении) и момент инерции (при вращательном). К **силовым** — сила и импульс силы (при поступательном движении), момент силы и импульс момента силы (при вращательном движении).

Единица **массы** — килограмм (кг) входит в число основных единиц системы СИ. 1 кг — масса одного литра воды при 4°C. Используется также тонна (т) = 1000 кг и грамм (г) = 10⁻³ кг.

Инерционность вращающегося тела определяется как его массой (m), так и средним удалением (R) элементов тела от оси вращения. Мерой инерционности при вращательном движении служит **момент инерции** $I = mR^2$, измеряемый в кг·м². Чем меньше момент инерции тела, тем с большей угловой скоростью оно может вращаться. Именно поэтому в гимнастике, прыжках в воду и т. д. группировка спортсмена приводит к увеличению скорости его вращения. То же и в фигурном катании при выполнении вращений: чем ближе руки фигу-

* Встречающийся еще в кардиологической литературе фразеологический оборот «сердечный ритм равен 60 уд/мин.» нельзя признать терминологически верным. В данной фразе речь идет по существу о частоте сердечных сокращений, изучаемой методами пульсометрии. В отличие от частоты сердечных сокращений («частоты пульса») ритм сердечного сокращения есть соотношение длительностей фаз сердечного цикла. На изучение ритма сердечной деятельности направлен метод фазового анализа сердечной деятельности (Л. I—9, II—42 и др.).

риста к оси вращения (опущены вдоль тела, прижаты к груди или скрещены над головой), тем меньше величина \bar{R} и, как следствие этого, меньше момент инерции и выше скорость вращения относительно вертикальной оси.

Важнейшая из динамических характеристик движения — сила. Единицей силы в системе СИ служит ньютон (н), относящийся к производным единицам. С помощью второго закона Ньютона ($F = ma$) легко связать ньютон с основными единицами системы СИ: $n = \frac{\text{кгм}}{\text{с}^2}$.

В последние годы в технике, включая и спортивное приборостроение, в качестве единицы силы получает распространение килопонд (кп) и понд (п) (от латинского «пондус» — вес, тяжесть); один кп = 1000 п. Килопонд — это сила, необходимая для удержания в равновесии одного килограмма массы (на уровне моря, на широте 45°). Термины килопонд и понд были предложены вместо килограмма силы (кГ) и грамма силы (Г). Введение этого нового обозначения позволяет избежать путаницы единицы силы — килограмма силы (кГ) с единицей массы — килограммом массы (кг). Килопонд равен 9,81 ньютонам: $1 \text{ кп} = 9,81 \text{ н} = 1 \text{ кГ}$.

Единицы измерения остальных динамических характеристик можно найти по формулам для расчета той или иной характеристики. Например, импульс силы $F\Delta t$ имеет размерность нс, момент силы Fg — нм, импульс момента силы $Fg\Delta t$ — нмс и т. д.

Единицы измерения работы, мощности, и теплоты

Как известно, механическая работа равна произведению силы на перемещение: $A = FS$, а мощность определяется как работа, выполненная в единицу времени: $N = \frac{A}{\Delta t}$. В спорте работу и мощность чаще всего измеряют при количественном дозировании физической нагрузки и при определении физической работоспособности спортсменов. Единицы измерения количества теплоты совпадают с единицами измерения механической работы.

Единицей измерения работы и количества тепла в системе СИ служит джоуль (дж) = н·м. Из внесистемных единиц часто используется килограммометр (кГм) или килопондометр (кпм): $1 \text{ кГм} = 1 \text{ кпм} = 9,8 \text{ дж}$.

* В физической системе единиц работа измеряется в эргах, причем $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ дж}$. «Эргометры» — устройства для измерения и дозирования выполняемой спортсменом работы, — широко распространены в спортивной практике.

Количество тепла измеряют и во внесистемных единицах — калориях (кал) и килокалориях (ккал): $1 \text{ ккал} = 1000 \text{ кал} = 4180 \text{ Дж}$.

Измерить выполненную спортсменом работу можно как непосредственно, так и косвенно — по показателям газообмена. В аэробных условиях поглощение 1 л кислорода обеспечивает образование в организме около 5 ккал тепла или выполнение работы объемом около 2000 кпм (Л. 1—1, 13).

Мощность, развиваемая спортсменом, в системе СИ измеряется в ваттах: $= \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Для измерения мощности используется

и ряд внесистемных единиц. В их числе киловатт $= 1000 \text{ Вт}$, лошадиная сила (л. с.) $= 75 \text{ кпм/с} = 4500 \text{ кпм/мин.} = 736 \text{ Вт}$.

При измерении **физической работоспособности** особенно часто применяется внесистемная единица — кпм/мин. $1 \text{ кпм/мин.} = 0,163 \text{ Вт}$, или $1 \text{ Вт} = 6 \text{ кпм/мин.}$ Физическая работоспособность спортсменов может достигать значительных величин. Нам приходилось наблюдать гребцов академического стиля, физическая работоспособность которых (измеренная по тесту PWC_{170}), составляла 2800 кпм/мин., или 0,6 л.с.

Единицы измерения давления

Единицами давления пользуются при изучении внутренних органов человека (например, сердечно-сосудистой системы), а также при измерении концентрации («напряжения») кислорода, углекислого газа и некоторых других химических соединений в жидкостях и тканях организма — в крови, мышцах и т. д.

Единицей давления называют такое давление, при котором на единицу площади действует сила, равная единице силы. В системе СИ единицей давления служит н/м². Иногда употребляется и другая единица — «техническая атмосфера»: $1 \text{ т. а.} = 0,89 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$.

Широкое распространение получили единицы, определяемые давлением, которое создает слой жидкости высотой 1 мм. Например, 1 мм водного столба создает давление 1 кп/м², т. к. вес столба воды с основанием 1 м² и высотой 1 мм равен одному килограмму.

Еще чаще, чем миллиметр водного столба («мм. вод. ст.») используют миллиметр ртутного столба («мм. рт. ст.»). Поскольку удельный вес ртути в 13,6 раз больше удельного веса воды, 1 мм рт. ст. равен 13,6 мм. вод. ст. Легко подсчитать, что техническая атмосфера равна 10 000 мм. вод. ст., или 735 мм. рт. ст.

Единицы измерения электрического потенциала

Потенциал электрического поля в системе СИ измеряется в вольтах (в). Часто применяют и другие единицы: киловольт (кв) = 1000 в, милливольт (мв) = 10^{-3} в, микровольт (мкв) = 10^{-6} в.

«Электростанции» человеческого организма создают электрические сигналы сравнительно небольшой величины. Амплитуда регистрируемой с поверхности тела **электрокардиограммы** чаще всего не превышает десятых долей милливольт. А биопотенциалы головного мозга (**электроэнцефаллограмма**) и того меньше — единицы микровольт*.

Применение синтетических материалов в спорте приводит к тому, что на теле спортсмена могут возникать высоковольтные (до нескольких киловольт) электрические потенциалы. Непосредственной опасности для здоровья спортсмена эти потенциалы не представляют, но значительно затрудняют измерение физиологических и биомеханических показателей.

*
*

Заканчивая рассмотрение единиц измерений, подчеркнем еще раз чрезвычайную важность этого раздела метрологии для теории и практики спорта. Совпадение размерностей — необходимое условие справедливости физической, а равно и биологической теории. К примеру, для проверки утверждения «кинетический момент равен моменту силы» достаточно сравнить размерности левой и правой частей формулы $I\epsilon = M$.

Сделаем это:

Размерность левой части найдем, произведя следующие тождественные преобразования: $I\epsilon = m\overline{R}^2\epsilon = \frac{PR^2\epsilon}{q}$

где I — момент инерции, m — масса, ϵ — угловое ускорение, \overline{R} — среднее расстояние от элементов вращающегося тела до оси вращения, P — вес тела, q — ускорение земного притяжения.

Теперь найти размерность кинетического момента не составляет труда; для этого достаточно условное обозначение каждой из характеристик заменить ее размерностью и произвести необходимые сокращения:

$$\frac{\text{н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м} \cdot \text{с}^2} = \text{н} \cdot \text{м}.$$

Единицу измерения момента импульса силы в правой части формулы найти еще легче: $M = Fl = \text{н} \cdot \text{м}$. Таким образом,

* Известны живые существа (электрический скат, кальмар и некоторые другие), наделенные «электрическими батареями» с потенциалом в несколько киловольт.

размерности левой и правой части формулы совпадают. Формула записана правильно*.

III. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно. Результат измерения неизбежно содержит погрешность, величина которой тем меньше, чем точнее метод измерения и измерительный прибор. Например, с помощью обычной линейки с миллиметровыми делениями нельзя измерить длину с точностью до 0,01 мм.

В задачу измерения входит не только нахождение самой измеряемой величины, но и оценка допущенной погрешности. Погрешности измерения принято подразделять на основную и дополнительную, абсолютную и относительную, систематическую и случайную (Л. 1—6.). Рассмотрим каждую из них.

Основная погрешность

Это погрешность метода измерения или измерительного прибора, которая имеет место в нормальных условиях их применения. Наибольшее допустимое значение основной погрешности, выраженное в процентах, определяет класс точности измерительного прибора и указывается на шкале прибора. Чем большую точность измерений мы хотим получить, тем дороже эта точность нам обходится.

Дополнительная погрешность

Так называется погрешность измерительного прибора, вызванная отклонением условий его работы от нормальных. Понятно, что прибор, предназначенный для работы при комнатной температуре, будет давать неточные показания, если пользоваться им летом на стадионе, под палящим солнцем или зимой на морозе. Погрешности измерения могут возникать и в том случае, когда напряжение электрической сети или батарейного источника питания ниже нормы или постоянно по величине. К дополнительным относится и так называемая динамическая погрешность, обусловленная инерционностью измерительного прибора и возникающая в тех слу-

* Приведенное соотношение является уравнением динамики вращательного движения и лежит в основе анализа безопорных и опорных вращений в гимнастике, спортивных метаниях и т. п. Для тех видов спорта, где спортсмен движется в основном поступательно, данная формула также представляет интерес, поскольку человеческое тело является весьма совершенной рычажной машиной, в которой поступательные движения образуются как сумма вращательных движений в суставах.

чих, когда измеряемая величина колеблется необычно быстро. Например, некоторые пульсотонометры рассчитаны на измерение средних величин частоты пульса и не способны улавливать непродолжительные отклонения частоты пульса от среднего уровня. Величина основной и дополнительной погрешности может быть представлена как в абсолютных, так и в относительных единицах.

Абсолютная погрешность

Величина $\Delta A = A - A_0$, равная разности между показанием измерительного прибора (A) и истинным значением измеряемой величины (A_0), называется абсолютной погрешностью измерения.

Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах, что и сама измеряемая величина.

Относительная погрешность

На практике часто удобнее пользоваться не абсолютной, а относительной величиной погрешности. Относительная погрешность измерения бывает двух видов — действительная и приведенная. Действительной относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к истинному

значению измеряемой величины: $\Delta A_{д} = \frac{\Delta A}{A_0} \cdot 100\%$.

Действительная приведенная погрешность — это отношение абсолютной погрешности к максимально возможному значению

измеряемой величины: $\Delta A_{п} = \frac{\Delta A}{A_{м}} \cdot 100\%$.

В тех случаях, когда оценивается не погрешность измерения в целом, а погрешность измерительного прибора, за максимальное значение измеряемой величины принимают предельное значение шкалы прибора. В таком понимании наибольшее допустимое значение $\Delta A_{п}$ известно как **класс точности измерительного прибора**. Например, пульсотонометр класса точности 1,0, рассчитанный на измерение частоты пульса в диапазоне до 200 уд/мин, может вносить в измерение погрешность, равную $200 \text{ уд/мин} \cdot 0,01 = 2 \text{ уд/мин}$.

Относительные погрешности обычно измеряются в процентах. При этом знак абсолютной погрешности не учитывается: абсолютная погрешность может быть и положительной, и отрицательной, а относительная погрешность всегда положительна.

Приведем пример вычисления абсолютной и относительной погрешности измерений.

Условия задачи. Пусть темп бега спортсмена, измеренный визуально, без помощи измерительных приборов, равен

205 шаг/мин. Одновременно тензограмма бега регистрировалась с помощью радиотелеметрической системы. Такой объективный контроль показал, что в действительности темп бега составлял 200 шаг/мин. Требуется найти величины абсолютной и относительной погрешности, допущенной при визуальном измерении темпа бега.

Введем обозначения:

темп бега, измеренный визуально, — $A = 205$ шаг/мин.

истинный темп бега $A_0 = 200$ шаг/мин.

Абсолютная погрешность $\Delta A = A - A_0 = 5$ шаг/мин.

Относительная погрешность (действительная $\Delta A = \Delta A / A_0 \cdot 100\% = 2,5\%$. Таким образом, абсолютная погрешность визуального измерения темпа бега равна 5 шаг/мин.; действительная относительная погрешность равна 2,5%.

Поскольку предельное значение темпа бега в условии задачи не указано, приведенную относительную погрешность определить нельзя.

Систематическая погрешность

Систематической называется погрешность, величина которой не меняется от измерения к измерению. В силу этой своей особенности систематическая погрешность часто может быть предсказана заранее или в крайнем случае обнаружена и устранена по окончании процесса измерения.

Способ устранения систематической погрешности зависит в первую очередь от ее природы. Систематические погрешности измерения можно разделить на три группы:

- 1) погрешности известного происхождения и известной величины,
- 2) погрешности известного происхождения, но неизвестной величины,
- 3) погрешности неизвестного происхождения и неизвестной величины.

Самые безобидные — погрешности измерения, относящиеся к первой из названных разновидностей. Они легко устраняются путем введения соответствующих поправок в результат измерения.

К погрешностям второй группы относятся прежде всего погрешности, связанные с несовершенством метода измерения и измерительной аппаратуры. Примером подобной погрешности может служить погрешность измерения физической работоспособности при надевании маски для забора выдыхаемого воздуха. Маска затрудняет дыхание, и спортсмен в маске закономерно демонстрирует физическую работоспособность, заниженную по сравнению с истинной работоспособностью, измеряемой без маски. Но величину этой погрешности нельзя предсказать заранее: она зависит от индивидуальных осо-

бенностей спортсмена и его самочувствия в момент исследования.

Другой пример систематической погрешности из второй группы — аппаратурные погрешности, когда измерительный прибор заведомо завышает или занижает истинное значение измеряемой величины, но величина погрешности неизвестна.

Погрешности неизвестного происхождения и неизвестной величины наиболее опасны. Их появление бывает связано как с несовершенством метода измерения, так и с особенностями объекта измерения — спортсмена. Причем часто о существовании такого рода систематических погрешностей исследователь и не подозревает. Вновь обращаясь к измерению физической работоспособности, можно предположить, что именно такие погрешности возникают при исследовании спортсменов с помощью ступеньки, велоэргометра или другого способа задания нагрузки, не учитывающего специфику вида спорта, в котором специализируется исследуемый спортсмен. Вполне понятно, что одинаково подготовленные физически велосипедист и пловец покажут при тестировании на велоэргометре разные результаты. Результат велосипедиста в этих, привычных для него условиях окажется выше.

Борьба с систематической погрешностью измерения ведется разными способами, из которых остановимся на тарировке и калибровке измерительной аппаратуры и на методе рандомизации.

Тарировкой измерительной системы (датчика, прибора) называется нанесение шкалы или масштабной сетки во всем диапазоне возможных значений измеряемой величины. **Калибровка** — часть тарировки. При калибровке с эталоном сверяется одна или две точки на шкале измерительного прибора. И при тарировке, и при калибровке ко входу измерительной системы вместо спортсмена подключается источник эталонного сигнала известной величины. Например, тарируя установку для измерения усилий, на тензометрическую платформу поочередно помещают грузы весом 10, 20, 30 и т.д. килограммов. При этом соответствующие уровни электрического сигнала фиксируются на ленте самописца.

Рандомизацией называется превращение систематической погрешности в случайную. Этот прием направлен на устранение неизвестных систематических погрешностей. По методу рандомизации измерение изучаемой величины производится несколько раз. При этом измерения организуют так, чтобы постоянный фактор, влияющий на результат измерения, действовал в каждом случае по-разному (Л. 1—6). Скажем, при исследовании физической работоспособности можно рекомендовать измерять ее многократно, всякий раз меняя способ задания нагрузки. По окончании всех измерений их результаты усредняются по правилам математической статистики.

Случайная погрешность

Случайные погрешности возникают под действием разнообразных факторов, которые ни предсказать заранее, ни точно учесть не удастся. Случайные погрешности принципиально неустранимы. Однако, воспользовавшись методами теории вероятностей и математической статистики, можно оценить величину случайной погрешности и учесть ее при интерпретации результатов измерения. Без статистической обработки результаты любых измерений (а спортивных измерений особенно!) не могут считаться достоверными.

С точки зрения математической статистики погрешность измерения есть случайная величина. Наиболее полной характеристикой любой случайной величины служит ее «закон распределения» — то есть зависимость между возможными значениями случайной величины и их вероятностями. Закон распределения случайной величины может быть выражен в форме графика, математической формулы или таблицы.

На практике часто возникает потребность в лаконичных числовых характеристиках случайной величины, которые мы

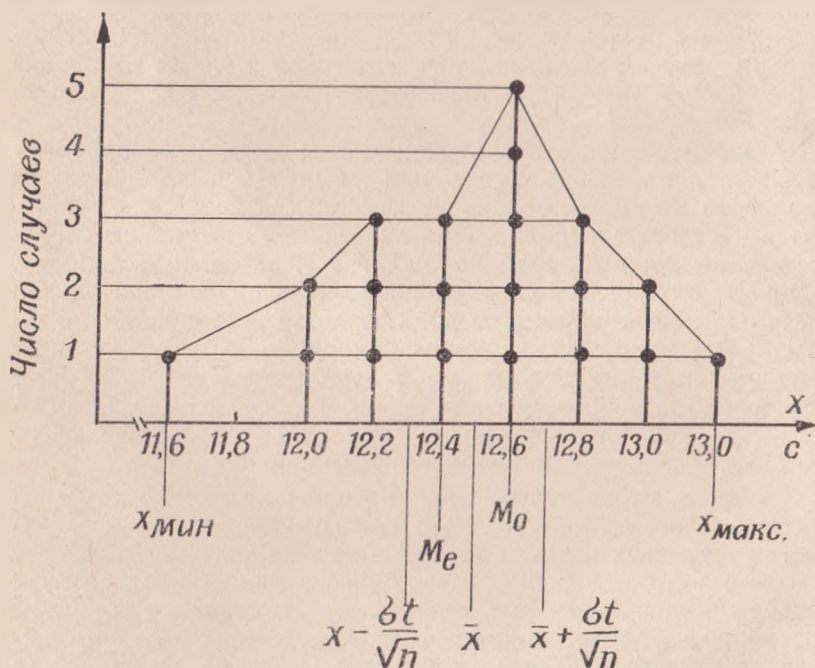


Рис. 2. Эмпирический закон распределения вероятностей результата (X) в беге на 60 метров, построенный по данным табл. 3.

рассмотрим очень кратко, поскольку исчерпывающие сведения по этому вопросу содержатся в литературе по математической статистике (Л. 1—2, 8, 12, 14, 15, 28, 29; II—13).

Из показателей, характеризующих случайную величину «в среднем», чаще всего используются: мода, медиана и среднее арифметическое значение (рис. 2). Мерой нестабильности случайной величины, мерой ее разброса относительно среднего значения может служить дисперсия, стандартное отклонение или коэффициент вариации. Приведем пример.

На занятиях группы здоровья измеряли результат 45-летнего мужчины в беге на 60 метров. В 20-ти попытках были показаны результаты, собранные в столбце 2 таблицы 3.

Таблица 3

Пример расчета статистических показателей случайной погрешности измерения.

попытка № п/п	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
с	с	с	с ²
1	2	3	4
1	13,0	0,5	0,25
2	12,4	-0,1	0,01
3	12,2	-0,3	0,09
4	12,8	0,3	0,09
5	12,0	-0,5	0,25
6	11,6	-0,9	0,81
7	12,4	-0,1	0,01
8	12,6	0,1	0,01
9	12,0	-0,5	0,25
10	13,2	0,7	0,49
11	12,6	0,1	0,01
12	12,6	0,1	0,01
13	12,8	0,3	0,09
14	12,2	-0,3	0,09
15	12,8	0,3	0,09
16	12,6	0,1	0,01
17	12,2	-0,3	0,09
18	12,6	0,1	0,01
19	13,0	0,5	0,25
n = 20	12,4	-0,1	0,01
\sum	250,0		2,29
1			

В столбец 3 той же таблицы помещены величины отклонений измеряемой величины от среднего значения, которые представляют собой, по-существу, случайную погрешность измерения. В столбце 4 — квадраты отклонений.

Собранные в таблице цифры позволили построить гистограмму* результата в беге на 60 метров (рис. 2) и вычислить:

1) моду: $M_0 = 12,6$ с

2) медиану: $M_e = \frac{X_{\text{верх}} + X_{\text{ниж}}}{2} = \frac{13,2 + 11,6}{2} = 12,5$ с

3) среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X}{n} = 12,5 \text{ с}$$

$$\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}$$

4) дисперсию $D = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1} = 0,15$ с²

5) средне-квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D} = 0,39$ с

6) коэффициент вариации $V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\% = \frac{0,39}{12,5} \cdot 100\% = 3,1\%$

Любой статистический расчет заканчивается оценкой достоверности полученных данных. Достоверность тем выше, чем меньше отклонения результатов измерения от среднего значения и чем больше проведено измерений. Для оценки достоверности измерения среднего арифметического (\bar{X}) в данном примере можно вычислить величину «доверительного интервала» $\frac{2\sigma t}{\sqrt{n}}$, где t — величина t -критерия Стьюдента, которую находят из таблиц. t зависит от числа измерений (n) и от «уровня значимости» (p). p можно интерпретировать как степень риска, т. е. как вероятность того, что истинное значение X может оказаться за пределами доверительного интервала. При 20-ти измерениях и уровне значимости $p = 0,05$, что соответствует «95% доверительному интервалу», $t = 2,09$ (см. приложение). Вычислим $\frac{\sigma t}{\sqrt{n}} = \frac{0,39 \cdot 2,09}{\sqrt{20}} = 0,18$. Истинное среднее арифметическое значение лежит в пределах $\bar{X} \pm \frac{\sigma t}{\sqrt{n}}$ а в нашем приме-

ре — в пределах $12,5 \pm 0,18$ с. Таким образом, можно с 95% уверенностью утверждать, что случайная погрешность измерения результата в беге на 60 м в рассмотренном случае не превышает 0,18 секунды, а сам результат у исследованного мужчины лежит в пределах от $12,5 - 0,18 \approx 12,3$ с до $12,5 + 0,18 \approx 12,7$ с.

* Гистограмма — одна из форм закона распределения вероятностей случайной величины (Л. 1—8, 14).

Подытоживая все сказанное в 1 главе, отметим, что выбор шкалы, определение единиц измерения, оценка точности измерения — это те проблемы, которые возникают при любом измерении, независимо от особенностей измеряемого объекта. В последующих главах рассказывается о том, как эти общие проблемы метрологии, а наряду с ними и некоторые специфические проблемы решаются в физической культуре и спорте.

Глава II. ПРИНЦИПЫ СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

«...в мышлении человека всегда существует известный несознаваемый произвол, при наличии которого горячая внутренняя убежденность автора способна побудить его принять желаемое за действительное. Но уж модель, оформленная как программа для вычислительной машины или как электронный аналог, не поддается никаким попыткам уговорить или переубедить ее в чем-либо таком, что несогласно с ее структурой. Модель неукоснительно работает по объективным законам природы или столь же прочно установленным законам математических отношений и потому служит требовательным и непреодолимым критерием того, может ли данная предлагаемая концепция правильно отобразить прототип или нет».

Н. А. БЕРНШТЕЙН.

Предыдущая глава содержит общие сведения о метрологии. Этих сведений в большинстве случаев оказывается достаточно для измерения показателей неживых объектов — например, спортивного инвентаря и спортивных сооружений. При исследовании спортсменов возникают дополнительные трудности, связанные с исключительным своеобразием и сложностью спортсмена как объекта измерений.

1. СПОРТСМЕН КАК ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ

Как и всякая живая система, спортсмен является сложным, нетривиальным объектом измерения. Объекты такой сложности иногда называют «плохо организованными» (В. В. Налимов, 1971). По-видимому, правильнее говорить не о «плохой», а об очень сложной организации подобных объектов. От привычных, классических объектов измерения спортсмен отличается прежде всего своей изменчивостью, адаптивностью, многомерностью, неполной наблюдаемостью и подвижностью.

Изменчивость

Все показатели спортсмена непрерывно изменяются. Колеблются физиологические показатели (потребление кислорода, частота пульса, минутный объем кровообращения и др.), биохимические показатели (концентрация молочной кислоты, кислорода, углекислого газа, ферментов и т. д.). Непостоянны морфоанатомические показатели: рост, вес, пропорции тела. Известно, например, что рост спортсмена после интенсивной тренировки несколько уменьшается в результате сжатия хрящей позвоночника. Даже физиологические константы (температура тела, осмотическое давление и активная реакция (рН) крови и тканевой жидкости и др.) не остаются неизменными и чутко реагируют на физические и эмоциональные нагрузки и на изменения в состоянии здоровья.

Особенно нестабильны биомеханические характеристики. Человек никогда не делает двух идентичных движений. Количественные характеристики внешне одинаковых движений никогда не совпадают. Даже в таком привычном и отработанном до автоматизма движении, как ходьба, каждый шаг чем-то отличается от другого шага (Л. II—3, 1—5).

Изменчивость спортсмена делает необходимыми многократные измерения показателей его жизнедеятельности и обработку результатов измерений методами математической статистики.

Адаптивность

Одной из причин непрерывного изменения показателей спортсмена служит его адаптивность, или приспособляемость. Человеку свойственно приспосабливаться («адаптироваться») к окружающим условиям. Этой своей способности человек обязан тем, что он выжил в борьбе за существование. Это же свойство человеческого организма лежит в основе обучаемости и дает спортсмену возможность осваивать новые элементы движений и выполнять их как в обычных, так и в нестандартных условиях (на жаре и холоде, при недостатке кислорода, эмоциональном напряжении, утомлении и т. п.).

Но вместе с тем приспособляемость спортсмена значительно усложняет задачу спортивных измерений. При многократных исследованиях спортсмен привыкает к процедуре исследования, «учится быть исследуемым» и по мере такого обучения начинает показывать иные результаты, чем вначале, хотя его функциональное состояние при этом может оставаться неизменным.

Причина адаптивности — в деятельности многочисленных управляющих систем в человеческом организме — систем нервной регуляции, гуморальной регуляции, саморегуляции

на уровне клеток и органов. Для анализа процессов адаптации и для оценки их влияния на результаты измерений необходимо наряду с традиционными для физической культуры и спорта методами исследования использовать и методы теории управления.

Многомерность

При исследовании спортсменов приходится одновременно регистрировать целый ряд показателей. Мастерство спортсмена определяется его физической, технической, психической, тактической и теоретической подготовленностью. В свою очередь, каждый из названных факторов зависит от многих переменных величин. Так, на физическую подготовленность оказывают влияние мощность, емкость и эффективность использования аэробного и анаэробного (алактатного и гликолитического) источников энергии, которые, в свою очередь, оцениваются по максимальному потреблению кислорода, кислородному долгу, концентрации молочной кислоты и ряду других показателей (Л. I—24, 10, 11, 25, 27, 34, 42). Не менее сложна количественная оценка технической подготовленности спортсмена, для чего требуется одновременно измерять несколько десятков биомеханических показателей (Л. II—16, 20, 22, I—5). Не ясна проблема количественного анализа тактической подготовленности, где необходимо учитывать не только действия исследуемого спортсмена, но также действия его партнеров и соперников, и в связи с этим число измеряемых переменных должно быть особенно велико.

Сложность исследования многомерных объектов заключается не только в том, что трудно организовать одновременное измерение многих переменных, но и в том, что с ростом числа переменных резко возрастает трудоемкость их одновременного анализа. По некоторым данным (Л. II—37), трудоемкость анализа при увеличении числа переменных возрастает таким образом, что анализ 4-мерного (т. е. характеризуемого четырьмя переменными) объекта примерно в 7 раз более трудоемок, чем анализ двумерного объекта и в 20 раз более трудоемок, чем анализ одномерного объекта.

Неполная наблюдаемость

Не все показатели спортсмена могут быть измерены непосредственно. Никому еще не удавалось, например, измерить выносливость и ловкость, выразительность движений, красоту и зрелищность упражнений, тактическую подготовленность и т. д. Вместо этого измеряют максимальное потребление кислорода, предельное время выполнения упражнений и другие

показатели, косвенно характеризующие выносливость. Измеряют кинематические и динамические характеристики движения, косвенно характеризующие ловкость спортсмена или эстетичность его движений. Во всех подобных случаях осуществляется не прямое измерение интересующего нас показателя, а косвенное его измерение, или «тестирование».

Косвенные измерения приходится использовать и в том случае, когда изучаемый показатель в принципе может быть измерен, но на практике это по тем или иным причинам не удается сделать. Трудно себе представить, например, что минутный объем кровообращения у спортсмена станут измерять прямым способом, требующим сложной хирургической операции (перерезания аорты, вставления в кровеносный сосуд счетчика количества протекающей крови и т. д.).

Понятно, что точность косвенного измерения всегда ниже точности прямого измерения. Как правило, повышение точности тестирования достигается ценой значительного усложнения процедуры исследования. На создание информативных, надежных, объективных и вместе с тем простых тестов нацелены тестология и квалиметрия — новые, формирующиеся в настоящее время ветви математической статистики (см. главу III).

Подвижность спортсмена

Создает дополнительные трудности при спортивных измерениях по сравнению с медицинскими, авиационными и даже космическими измерениями, где человек исследуется преимущественно в состоянии мышечного покоя. До недавнего времени и спортсмены чаще всего исследовались либо в покое, либо в стандартных, лабораторных условиях.

Во время лабораторного исследования спортсмен обычно работает на велоэргометре или в заданном темпе поднимается на ступеньку определенной высоты.

Данные лабораторных исследований представляют значительный интерес, но тренеру особенно важно получить информацию о состоянии спортсмена в естественных условиях тренировок и соревнований. Измерение показателей спортсмена в условиях тренировки затрудняется тем, что спортсмен непрерывно двигается, выполняет тяжелую и разнообразную физическую работу, и в результате возникают помехи на регистрируемых кривых и ошибки в измерениях.

Итак, даже поверхностное знакомство с особенностями спортсмена как объекта измерений свидетельствует о его чрезвычайной сложности и о многообразии проблем, стоящих перед спортивной метрологией. Эти проблемы частично уже решаются и в первую очередь — технические, аппаратные

проблемы. Например, новая помехоустойчивая измерительная и вычислительная техника превратила регистрацию показателей спортсмена во время естественных движений из неразрешимой проблемы в будничную работу — часто трудоемкую и кропотливую, но в принципе вполне выполнимую.

Теоретические проблемы спортивных измерений решить труднее. Как организовать измерение с минимальной затратой сил и средств? Как отобрать существенные и наиболее информативные показатели? Каким образом быстро и без ошибок разобраться в десятках и сотнях чисел, характеризующих состояние человека, выполняющего физические упражнения? Как планировать измерения? Как проводить измерения? Как обрабатывать результаты измерений? Ответить на эти вопросы будет легче, если принять во внимание, что конечная цель всякого измерения состоит в создании модели изучаемой системы (модели физиологических и биомеханических процессов в организме спортсмена, модели тренировочного процесса, модели функционального состояния спортсмена, модели динамики спортивных достижений, модели спортивной техники и т. п.).

II. СПОРТИВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Нередко можно наблюдать, что два процесса, имеющие различную физическую природу, протекают весьма сходно. Так, растяжение и сокращение мышцы при определенных условиях протекает аналогично растяжению и сокращению специально подобранной пружины. А раз мы знаем, что процессы в обоих случаях протекают одинаково, то вместо исследования мышцы можно изучить поведение пружины в интересующих нас условиях и на основании полученных результатов судить о том, как бы вела себя в этих условиях мышца. Подобные аналогии используются при моделировании.

В математике и теории систем аналогичные в указанном смысле процессы и системы называют изоморфными (Л. II—6, 7). **Изоморфизм** — взаимнооднозначное соответствие между двумя множествами каких-либо объектов. Такие множества служат моделями друг друга, и, изучая одно из них, мы тем самым устанавливаем свойства другого. Изоморфизм является математическим уточнением расплывчатого, интуитивного понятия аналогии. Таким образом, моделирование состоит в создании искусственных систем, изоморфных изучаемым системам.

Виды моделей

Различают четыре разновидности моделей — словесную (описательную), физическую, математическую и электрическую.

Словесное описание — простейшая и наиболее древняя форма моделирования. Ей свойственны общедоступность, невысокая точность и чрезвычайная громоздкость.

Модель называется физической, если она отличается от оригинала лишь размерами, сохраняя его пропорции и физическую природу: например, уменьшенное в размерах футбольное поле служит моделью настоящего футбольного поля. Понятно, что физическое моделирование не всегда осуществимо. Невозможно себе представить, например, действующую физическую модель спортсмена. Выход из положения в этом случае состоит в математическом моделировании — с помощью математических формул или в электрическом моделировании — с помощью электронных вычислительных машин.

Аналогичность процессов в столь различных системах, как стальная пружина и мышцы спортсмена, объясняется тем, что совпадают математические уравнения, описывающие эти системы. В этом особая ценность математического моделирования. Математика служит как бы своеобразным переводчиком, позволяющим сформулировать закономерности системы на том языке, который более всего устраивает исследователя. Таким универсальным языком, наряду с математикой, в последнее время становится «язык» электрических сигналов, на котором «объясняются» электронные вычислительные машины. Пользуясь математическим и электронным моделированием, можно не строить физические модели-аналоги: «игрушечную мышцу», «игрушечного спортсмена», а достаточно отыскать физические законы и математические зависимости, по которым работает мышца или спортсмен, и в соответствии с полученной математической моделью запрограммировать вычислительную машину.

Формы математического моделирования многообразны. Любая математическая модель может быть представлена в виде формулы, графика или таблицы. И в ряде случаев график или таблица, подобно математической формуле, успешно выполняют роль переводчика опытных данных на язык электронно-вычислительной машины.

Поясним сказанное на примере модели нормальной реакции сердца человека на физическую нагрузку (Л. II—26).

Речь идет о графике на рис. 3 и соответствующей ему математической формуле, связывающей между собой длительность сердечного цикла (C), развиваемую спортсменом мощность (N), его физическую работоспособность (PWC_{170}) и время (t) непрерывного выполнения упражнений:

$$C(N, t, PWC_{170}) = [757 - 60N - 415 (e^{-2,1N} + e^{-0,11N})] \cdot e^{-20t} + \\ + 60(N+1) \cdot e^{-2t} + [415 (e^{-2,1N} + e^{-0,11N}) + 34] \cdot \\ \cdot e^{-0,02t} (1,3 - 0,2 PWC_{170}),$$

где N и PWC_{170} измеряются в тысячах $\frac{\text{кГм}}{\text{мин}}$, t — в минутах, C — в миллисекундах.

Модель позволяет предсказать частоту пульса в любой момент времени после начала выполнения работы определенной интенсивности. На рис. 3 изображена полученная в процессе исследования кривая изменения длительности сердечного цикла у спортсмена во время работы на велоэргометре.

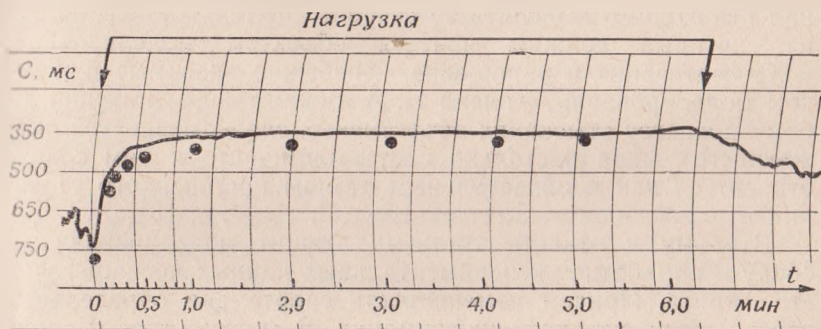


Рис. 3. График изменения длительности сердечного цикла (C) у спортсмена, выполняющего физическую работу; точками обозначены величины C , предсказанные с помощью модели.

Там же нанесены точки, показывающие, как должна была бы пойти эта кривая согласно модели. Реально наблюдаемая кривая проходит в области меньших длительностей сердечного цикла, чем предсказано моделью. Поэтому можно утверждать, что физическая подготовленность исследованного в данном опыте человека была ниже средней.

Подобные модели приносят большую пользу при диагностике тренированности. Степень подготовленности спортсмена (физической, технической и т. д.) определяют, сравнивая его показатели с моделью — эталоном. Роль эталона может выполнять модель того или иного фактора тренированности, основанная на результатах исследования группы спортсменов определенной квалификации. Могут быть получены модели, соответствующие подготовленности мастера спорта, перворазрядника, спортсмена второго разряда и т. д.

Процедура создания модели

Работа по созданию модели складывается из следующих этапов:

1. Определение задач моделирования;

2. Сбор экспериментальных данных об изучаемой системе;
3. Статистическая обработка экспериментальных данных;
4. Создание математической модели и электрической модели;

5. Экспериментальная проверка соответствия модели оригиналу (адекватности модели) путем сопоставления их реакций на различные внешние воздействия.

Модель спортсмена во всем его многообразии и сложности построить невозможно. Поэтому на первом этапе моделирования необходимо выделить те стороны деятельности спортсмена, которые должны явиться объектом моделирования. «...Схематизация и упрощение, неизбежно вносимые при всяком моделировании,— писал Н. А. Бернштейн,— присущи любому процессу отыскания объективных закономерностей окружающего мира настолько неотъемлемо, что к ним следует относиться как к обязательным этапам постепенного уточнения и углубления наших знаний» (Л. II—4, с. 15).

Второму и отчасти третьему этапам моделирования — сбору и обработке экспериментальных данных посвящена вся эта книга. Причем изменчивость спортсмена определяет и способ сбора исходной информации. В физкультуре и спорте наиболее распространены модели, построенные на основании исследования десятков и сотен испытуемых. Результаты таких исследования обрабатываются методами математической статистики. Иногда имеет смысл строить модель и для одного отдельно взятого спортсмена — например, члена сборной команды, на которого возлагаются особые надежды в предстоящих соревнованиях. В этом случае модель также носит вероятностный характер, поскольку показатели жизненно важных систем человека не остаются постоянными, а колеблются в зависимости от состояния здоровья, времени суток, климатических условий, тренировочного режима и т. п.

Особого искусства требует создание математической модели (четвертый этап моделирования). Часто на практике этот процесс сводится к подбору математической формулы, описывающей экспериментально полученный график. В этом случае для построения модели необходимо сделать следующее:

а) нанести полученные в результате измерений экспериментальные данные на график;

б) вычертить кривые, отражающие зависимость между изучаемыми величинами;

в) «угадать» или рассчитать на вычислительной машине вид и коэффициенты математических уравнений, соответствующих этим кривым;

г) проверить модель и в случае ее несоответствия экспериментальным данным повторить весь процесс сначала.

Именно в такой последовательности создавалась упомянутая выше модель нормальной реакции сердца человека на физическую нагрузку.

Математический аппарат моделирования

Чрезвычайно разнообразен. Из разделов математики при математическом моделировании наиболее часто используют: функциональный анализ (Л. II—15, 24, 36, 57), математическая статистика (Л. I—8, 12, 29; II—5, 17, 18, 29, 30 и др.), дифференциальное и интегральное исчисление (Л. II—24 и др.), а в последнее время — такие новые разделы математики, как математическое программирование и теория игр. (Л. II—57, 58, 59; VII—20).

Не имея возможности обстоятельно рассмотреть методы математического моделирования, остановимся лишь на основных, ключевых понятиях. Первое из них — понятие **функциональной зависимости**. Две переменные связаны между собой функциональной зависимостью, если каждому значению одной из них (например, С) соответствует определенное значение другой (например, N). В этом случае говорят, что С есть функция от N. По словам видного советского математика А. Ф. Хинчина, «в понятии функциональной зависимости, как в зародыше, уже заложена вся идея овладения явлениями природы при помощи математического аппарата». Функциональная зависимость может быть представлена в одной из трех форм — в виде графика, таблицы или математической формулы.

Встречающиеся в спорте функциональные зависимости при моделировании стараются заменить комбинацией простых, элементарных функций. Важнейшие элементарные функции собраны на рис. 4. Одна из элементарных математических (а точнее сказать — арифметических) моделей используется при оценке физической работоспособности спортсмена. Каждый, кто на себе испытал прямой метод измерения максимального потребления кислорода (МПК), знает, сколь изнурительна эта процедура. Указанный метод, кроме того, и не вполне точен, поскольку результат измерений зависит от субъективных ощущений испытуемого и от его желания, вопреки нарастающему утомлению, продемонстрировать свои наивысшие возможности. Значительно проще определять МПК косвенным методом, используя математическую модель взаимосвязи между МПК и величиной физической работоспособности, оцененной по тесту PWC_{170} (Л. II—25): $МПК = -2,2 PWC_{170} + 1070$, где максимальное потребление O_2 измеряется в л/мин. (STPD), а PWC_{170} — в тысячах кгм/мин. В этом случае все исследование сводится к измерению величины PWC_{170} , занимает 10—15 мин. и носит характер легкой разминки.

К сожалению, не все задачи спортивных измерений можно решить методами элементарной математики. Когда нас интересуют динамические характеристики изучаемых систем, скорости и ускорения исследуемых процессов, необходимо приме-

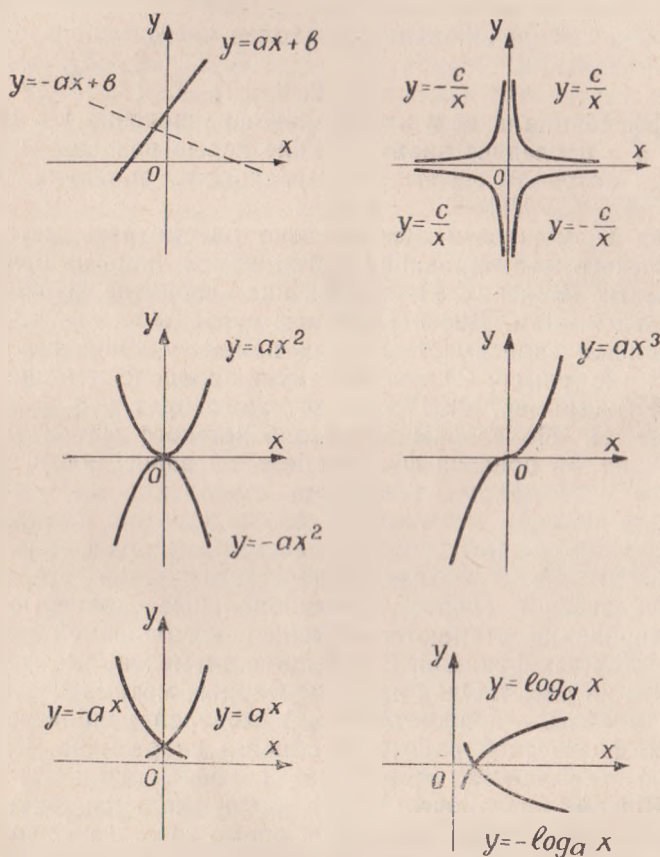


Рис. 4. Графики важнейших элементарных функций. Слева направо и сверху вниз функции: линейная, гиперболическая, квадратичная, кубическая, показательная и логарифмическая.

нять дифференциальное и интегральное исчисление. В основе этих разделов высшей математики лежат понятия дифференциала и интеграла. Эти основные понятия «уже давно стали необходимой частью знаний каждого культурного человека наряду, например, с пониманием того, что неизвестную величину можно обозначить буквой X и производить с этой буквой алгебраические действия» (Л. II—24).

Дифференцированием называется операция нахождения скорости изменения функции. Чем быстрее меняется значение функции, тем большую величину имеет результат ее однократного дифференцирования — первая производная. Если функция увеличивается, то первая производная положительна; если значение функции уменьшается, то первая производная отрицательна. И, наконец, нулевое значение производной соответствует неизменной по величине функции. Результат однократного дифференцирования в свою очередь может быть подвергнут дифференцированию. При двукратном дифференцировании образуется величина, соответствующая скорости изменения скорости — т. е. ускорению. Сказанное иллюстрирует рис. 5, показывающий, как при толкании ядра изменяется положение в пространстве, скорость и ускорение ядра.



Рис. 5. Дифференцирование и интегрирование в измерении биомеханических переменных спортсмена — на примере финального усилия в толкании ядра (из материалов I Международного семинара по биомеханике — Цюрих, 1967).

Известно несколько способов дифференцирования, и самый простой из них — графический. Для того, чтобы графически вычислить скорость изменения функции, достаточно провести касательную к исходной кривой в интересующей нас точке и найти тангенс угла наклона касательной. В последнее время такие трудоемкие операции, как дифференцирование и интегрирование все чаще «поручают» вычислительной машине (см. гл. VII).

Интегрирование — это математическая операция, обратная дифференцированию. Путем интегрирования можно по кривой ускорения найти график изменения скорости, а по графику скорости — траекторию движущейся точки. Другое применение интегрирования состоит в отыскании суммарных («интегральных») показателей — например, суммарного числа сердечных сокращений, общего объема выполненной за тренировку механической работы и т. п. При интегрировании происходит суммирование, накопление значений интегрируемой функции. Быстрые колебания функции в результате интегрирования сглаживаются, и становится явной тенденция изучаемой переменной.

Проблемы моделирования в спорте очень сложны, и мы (в самых общих чертах) коснулись лишь одного из ее аспектов — технологии построения модели по результатам измерений. В следующем разделе центр внимания переносится на не менее важный аспект названной проблемы, а именно — на способы такой организации измерений, при которой исследователь получает сведения о статических, динамических и вероятностных характеристиках изучаемой системы. Лишь располагая названными характеристиками, можно рассчитывать на соответствие создаваемой модели изучаемой системе. Необходимый понятийный и математический аппарат уже на протяжении нескольких десятилетий развивается в общей теории систем и теории управления.

III. СПОРТИВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕОРИЯ СИСТЕМ

Общая теория систем возникла как закономерная реакция науки на все возрастающую сложность объектов научного исследования и на лавинообразное накопление информации как в традиционных, так и во вновь создаваемых научных дисциплинах.

В этих условиях понадобились общие принципы, единая теоретико-методологическая база для решения научных проблем. В философском плане прочным фундаментом науки является диалектический и исторический материализм. В конкретных областях знания ту же задачу пытается решить

«общая теория систем», претендующая на роль «метатеории» — т. е. теории, подводящей единую базу под все науки.

Возникновение общей теории систем обычно связывают с именем австрийского ученого Людвиг фон Берталанфи, который в конце 40-х годов сформулировал фундаментальную проблему общей теории систем как проблему выяснения законов образования, поведения и развития любых реальных систем (Л. П—2, 6, 7). Л. фон Берталанфи называет системой множество элементов, находящихся в некоторых определенных отношениях друг к другу. При этом элементы системы могут иметь произвольную материальную природу: физическую, биологическую, социальную. В стремлении отыскать единый подход к исследованию систем любой природы состоит главное отличие системного подхода от других принципов научного исследования.

Системный подход противостоит механистическому и виталистическому взгляду на систему. При механистическом подходе делалась попытка объяснить свойства системы и создать ее модель, исходя только из свойств входящих в изучаемую систему элементов. В физиологии, например, механистический подход господствовал до конца прошлого века, когда И. П. Павлов первым предложил исследовать не препараты органов и не наркотизированных животных в условиях вивисекции, а целостных животных в условиях, максимально приближенных к нормальным. Виталисты (К. Бернар и др.) признавали особые свойства целостной системы, но неправильно объясняли эти свойства, связывая их с наличием каких-то «надорганических», принципиально непознаваемых сил.

При системном подходе изучаемое явление рассматривается как единое целое. Анализируются не только состав и свойства системы, но и взаимосвязи ее элементов. Изучению способа связи элементов системы между собой («структуры системы») придается особое значение, ибо именно эти связи и определяют качественное отличие системы элементов от простого набора элементов: мышцы спортсмена способны приводить в действие опорно-двигательный аппарат потому, что они определенным образом механически связаны друг с другом и по определенным законам взаимодействуют между собой.

Системный подход (или «системное мышление») начинает сегодня использоваться в спорте. Без системного подхода измерение каких бы то ни было показателей спортсмена, сбор каких бы то ни было экспериментальных данных часто теряет свой смысл, превращаясь в простое «коллекционирование фактов».

I. ЭЛЕМЕНТЫ ПОНЯТИЙНОГО АППАРАТА ТЕОРИИ СИСТЕМ

Теория спортивных измерений не выработала еще своей терминологии. В настоящем разделе уточняется значение ряда терминов, заимствуемых спортивной метрологией из теории систем.

Система. Прежде всего дадим определение понятию «система». Системой называют совокупность взаимосвязанных элементов, у которых взаимодействие носит характер взаимодействия и направлено на получение определенного результата*.

Примерами систем в спорте могут служить как отдельные системы жизнеобеспечения (кровообращение, дыхание, системы управления движениями и т. д.), так и спортсмен в целом — огромной сложности система, способная к обучению и достижению поставленной цели. Системами являются также тренировочный процесс, спортивное мастерство, техника выполнения упражнений и многие другие. Перечисленные системы имеют различную физическую природу, и на первый взгляд у них мало общего (сравним, например, тренировочный процесс, движения спортсмена и кровообращение). Но в одном эти системы сходны — все они относятся к числу «кибернетических систем».

Кибернетическая система. Кибернетические системы занимают особое место среди огромного разнообразия систем окружающего нас мира. Их отличительная особенность — чрезвычайная сложность. Кибернетические системы встречаются не только в спорте; к ним относятся биологические системы управления, системы управления большими коллективами людей, системы управления экономикой и целый ряд других столь же сложных систем.

Еще сорок лет назад точное исследование систем такой сложности казалось научной фантастикой. Но необходимость подобных исследований остро ощущалась буквально во всех отраслях знания и стимулировала поиски эффективных методов изучения сложных систем. А. Н. Колмогоров, Н. А. Бернштейн, П. К. Анохин — в Советском Союзе, К. Шеннон, Н. Винер — в США, А. Тьюринг, У. Эшби, Г. Уолтер — в Анг-

* Вопрос о содержании понятия «система» уже четверть века служит предметом оживленной дискуссии. По сути дела каждый специалист по теории систем вкладывает в это понятие свой смысл. Приводимое здесь определение предложено П. К. Анохиным. В отличие от Л. фон Берталанфи, П. К. Анохин считает системой лишь совокупность таких элементов, которые взаимодействуют, помогают друг другу в достижении определенной цели. Например, в соответствии с определением П. К. Анохина две футбольные команды на поле — еще не образуют систему, но каждая из них является системой.

ли, Дж. фон Нейман и Л. фон Берталанфи — в Центральной Европе — вот далеко не полный перечень ученых, начавших изучение этой проблемы. Труд их увенчался созданием кибернетики — науки о целенаправленном управлении сложными системами.

Положение о единстве законов управления в системах различной физической природы первым четко сформулировал выдающийся американский математик Норберт Винер, автор опубликованной в 1948 году книги «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине». Ему принадлежит идея назвать новую науку кибернетикой: кибернетос по-гречески означает кормчий, рулевой. Впервые же этот термин употребил в 1834 году французский физик А. Ампер, назвав кибернетикой не существовавшую еще тогда науку об управлении обществом.

Называя систему кибернетической, не только подчеркивают ее чрезвычайную сложность, но характеризуют способ ее изучения. Так, биологическую систему управления движениями спортсмена можно изучать с гистологической, анатомической или физиологической точки зрения как комплекс взаимодействующих элементов (костей, мышц, нейронов и т. д.), но ввиду исключительной сложности системы такой подход не принесет успеха. Гораздо эффективнее «кибернетический» подход, являющийся разновидностью системного подхода и ставящий во главу угла закономерности обмена информацией между элементами системы.

Переменная системы*. Важным понятием теории систем является понятие переменной. Переменная — это случайная величина, характеризующая какое-либо свойство системы. Говоря словами У. Р. Эшби, «все величины, используемые в физике, химии, биологии, физиологии и психологии, являются переменными в смысле данного определения». Для примера упомянем о системе кислородного обеспечения человеческого организма, переменными которой служат потребление кислорода, артерио-венозная разница по кислороду, минутный объем кровообращения, частота пульса и т. д. Другой пример — движения спортсмена. К переменным этой системы относятся кинематические и динамические характеристики движений.

* Числовую величину, характеризующую какое-либо качество спортсмена, называют показателем, параметром, переменной, характеристикой, репрезентантой, фактором и т. д. Здесь так же, как и в работах У. Р. Эшби (1965), Ф. Гродинза (1966), Д. Милсума (1968) и ряда других авторов используются термины, заимствованные из теории систем, теории управления и некоторых глав математики, составляющих основу моделирования систем в спорте.

Выходные и входные переменные. Наряду с переменными, характеризующими состояние системы (выходными переменными), необходимо контролировать и переменные, характеризующие влияние внешней среды на изучаемую систему. В отличие от выходных переменных, эти переменные называются входными. При исследовании спортсменов роль входных переменных могут играть: интенсивность физических и эмоциональных нагрузок, концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе, температура окружающей среды и т. д.

Существенные и несущественные переменные. Характеризующие систему переменные неодинаковы по своей информативности и важности для каждой конкретной задачи и по этим признакам делятся на существенные и несущественные.

Существенными переменными называются наиболее важные показатели системы. Несущественные переменные — это показатели менее важные, второстепенные, не оказывающие решающего влияния на эффективность работы системы. Понятно, что всякая реальная система характеризуется бесчисленным множеством переменных. Но для анализа используются только существенные переменные, тщательно отбираемые из десятков или даже сотен количественных характеристик системы.

Включение тех или иных переменных в число существенных зависит от конкретной цели исследования. Например, при исследовании техники движений к существенным переменным относят скорости и ускорения звеньев тела, углы в суставах, величины усилий. И в этом случае мало интересуются, например, аэробной производительностью спортсмена, не говоря уже о таких несущественных (несущественных только с точки зрения данной задачи!) переменных, как цвет глаз, знание иностранных языков и т. п. При проверке функционального состояния стайера измеряют производительность систем энергообеспечения организма: потребление кислорода, кардиологические показатели и другие переменные, характеризующие выносливость спортсмена. Если же исследуется спринтер, то в центре внимания оказываются его биомеханические и психологические показатели, определяющие скоростные навыки, способность к «взрывным» действиям.

Состояние системы. Величины переменных, характеризующих спортсмена, непрерывно изменяются во времени. Но в каждый конкретный момент времени переменные имеют определенные значения, которые в принципе всегда можно измерить с помощью измерительных приборов. Набор численных значений переменных в данный момент времени определяет состояние системы в этот момент.

Представление о состоянии системы чрезвычайно плодотворно как в теоретическом, так и в практическом отношении

и уже сегодня используется в тренерской практике. За примером обратимся к важному для каждого спортсмена вопросу об оценке тренированности. Согласно современным взглядам, тренированность определяется пятью факторами физической, технической, психологической, тактической и теоретической подготовленностью спортсмена. Таким образом, тренированность можно рассматривать как систему, состояние которой определяется пятью существенными переменными. Если же создать возможность количественной оценки каждого фактора тренированности, то в этом случае станет практически осуществимым точное измерение тренированности.

Пространство состояния. Большую пользу может принести наглядное графическое изображение состояния системы как точки в прямоугольных координатах, где по осям откладываются числовые значения существенных переменных изучаемой системы. Такой график называется пространством состояния, или фазовым пространством, а точка в пространстве состояния, соответствующая состоянию системы в данный момент времени, — репрезентативной точкой. Приведем пример из исследовательской практики заслуженного мастера спорта, чемпиона Европы по академической гребле А. Ткачука, предложившего новый способ объективной оценки техники выполнения гребка. По этому способу непрерывно регистрируются горизонтальная и вертикальная координаты лопасти весла. Электрические сигналы, пропорциональные величинам перемещения весла в горизонтальном и вертикальном направлении, совместно регистрируются двухкоординатным самописцем. При каждом гребке репрезентативная точка такой двумерной системы описывает замкнутую кривую, форма которой зависит от ряда количественных показателей техники гребли — длины проводки, высоты проноса весла над водой при подготовке гребка, глубины погружения весла в воду и т. д.

График с изображением координат фазового пространства и траектории репрезентативной точки иногда называют фазовым портретом системы. На рис. 6 (а, б, в, г) изображены четыре фазовых портрета кинематики гребка. Первый из них (рис. 6а) получен при неправильной технике гребли, когда гребец работал без подъезда, при неподвижной банке. Остальные записаны при исследовании движений высокотехнического мастера и отличаются друг от друга лишь временем записи. График на рис. 6б зарегистрирован на 5-й минуте работы, график на рис. 6в — на 10-й минуте, а график на рис. 6г — на 15-й минуте работы, когда гребец испытывал уже заметную усталость.

Таким образом, даже простейшее двумерное пространство состояния системы движений спортсмена позволяет вплотную

приблизиться к решению одной из важнейших задач современного спорта — задаче отыскания объективных критериев техники выполнения упражнений. Кроме того, открывается возможность объективно оценивать влияние на технику движений различных сбивающих факторов и, в частности, утомления спортсмена.

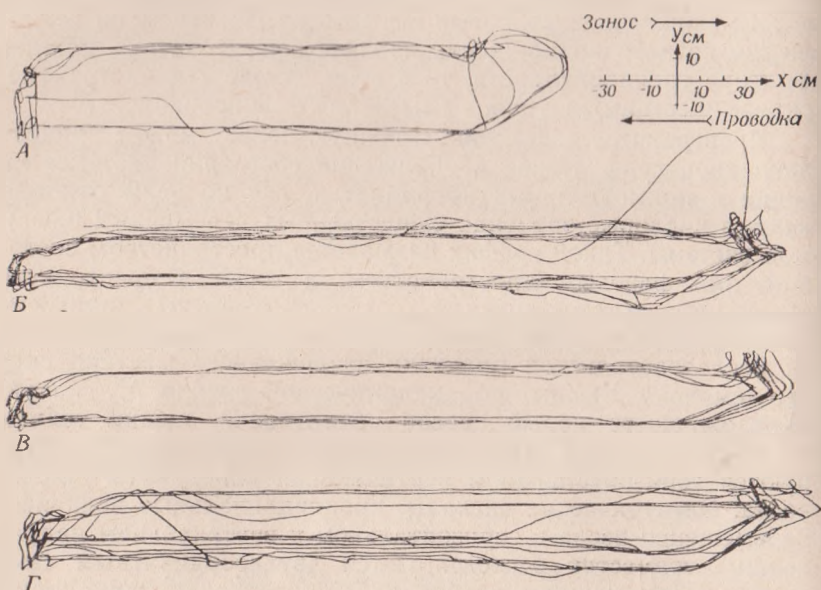


Рис. 6. Кинематика весла в двумерном пространстве состояния: по горизонтальной оси — горизонтальная составляющая перемещения весла, по вертикальной оси — вертикальная составляющая.

Рассмотренный пример соответствует относительно простой ситуации, когда состояние системы определяется всего лишь двумя переменными. На практике число существенных переменных, как правило, больше двух. И в этом случае речь идет уже не о двумерном, а о многомерном пространстве состояния системы. Многомерное пространство состояния, конечно, труднее изобразить графически, но его смысл в принципе тот же, что и у двумерного пространства состояния.

Понятие пространства состояния используется при диагностике тренированности спортсменов (Л. II—27, 42). Для этого в пространстве состояния выделяют области отличной, хорошей, удовлетворительной и т. д. тренированности. Репрезентативная точка попадает в ту или иную область пространства состояния в зависимости от подготовленности

спортсмена. Задача тренера — перевести репрезентативную точку в ту область пространства состояния, которая соответствует высокой тренированности спортсмена. Эта задача известна в теории управления как задача об **управлении состоянием системы**.

Анализ системы включает в себя определение ее состава, структуры, принципа действия и функциональных свойств.

Состав системы — совокупность элементов, из которых система состоит. Слово «структура» в переводе с латинского означает «строение». Под **структурой системы** понимают форму ее внутренней организации и в первую очередь способ, которым элементы системы связаны между собой. **Принцип действия** системы — это способ функционирования каждого элемента в отдельности и всей системы в целом. И, наконец, **функциональные свойства** — это общие, внешние свойства системы, определяющие способность системы выполнять ту функцию, для которой она предназначена. **Результатом анализа служит модель системы**.

К задачам анализа систем («системного анализа») в спорте относится количественная оценка спортивного мастерства в целом и отдельных его факторов. Методы анализа систем могут использоваться также при отборе спортсменов, формировании команд, в диагностических и прогностических целях и т. д. При этом объектом анализа чаще всего оказываются уже названные выше факторы спортивного мастерства (физическая, техническая, психологическая, тактическая и теоретическая подготовленность), а также физические качества спортсмена: выносливость, сила, быстрота, ловкость, гибкость.

Функциональный подход и системно-структурный подход к анализу систем. Теория систем предлагает два основных подхода к анализу систем: функциональный и системно-структурный.

При функциональном подходе с самого начала отказываются от рассмотрения внутреннего строения и принципа действия системы и все внимание сосредоточивают на ее внешних, «функциональных» свойствах. При этом о свойствах изучаемой системы судят по ее реакции на строго дозированные входные воздействия. С легкой руки одного из основоположников кибернетики У. Р. Эшби, функциональный подход к анализу систем часто называют «методом черного ящика».

При системно-структурном подходе во взаимосвязи с функцией системы изучают состав и структуру системы, а также механизм ее функционирования. Это, несомненно, расширяет возможности исследователя, позволяя не просто констатировать те или иные изменения свойств системы, но

отыскивать причины изменений, а в ряде случаев целенаправленно формировать свойства системы. Системно-структурные модели систем, как правило, сложнее функциональных.

Системно-структурный и функциональный подходы не противоречат друг другу. Применяя системно-структурный подход, исследователь представляет изучаемую систему в виде иерархии подсистем. Подсистемы, находящиеся на нижней ступени иерархической лестницы, остаются нераскрытыми, недетализированными и рассматриваются уже с позиций функционального подхода. Уровень, на котором системно-структурный подход переходит в функциональный, зависит от задач исследования и от методических возможностей исследователя. Так, например, при анализе биомеханических систем детально изучается взаимодействие мышц, костей, сухожилий и т. д. Но по отношению к отдельным элементам биомеханической системы чаще всего применяется функциональный подход: их деятельность на молекулярном и клеточном уровне обычно не рассматривается.

2. Основы функционального анализа систем

Математический аппарат, с помощью которого анализируются связи между входными и выходными переменными, принято называть функциональным анализом (Л. II—6, 15, 53). Функциональным анализом математики усиленно занимаются уже около 20 лет, а после 1960 года методы функционального анализа проникли и в теорию систем.

Важнейшей областью применения функционального анализа в спорте является, как уже говорилось, тестирование спортсменов. И действительно, при проверке функционального состояния спортсмена тренер прежде всего интересуется его готовностью к предстоящим соревнованиям и в значительно меньшей степени — составом, структурой и другими особенностями систем и процессов, обеспечивающих эту готовность. Об этом образно сказал Б. В. Бирюков: «Когда стараются разобраться в том новом, что кибернетика внесла в методологию науки, никогда не забывают о функциональном подходе, на знамени которого написано **овладеть процессом управления без полного раскрытия его внутренней природы!** В функциональном подходе явственно зрима все более распространяющаяся «нетерпеливая» черта в методологии науки: не ждать, когда будет познана сущность явления..., а моделировать внешнее поведение объекта исследования».

Для того, чтобы судить о функциональных свойствах системы, достаточно измерить ее статические и динамические характеристики.

А. Статические характеристики систем

Статические характеристики несут информацию о диапазоне возможных изменений переменных системы и о поведении системы при очень медленном изменении внешних воздействий. Динамические характеристики содержат информацию о быстродействии системы и позволяют предсказать ее реакцию на быстрые изменения входных переменных. Статические и динамические характеристики в совокупности составляют функциональную модель системы.

Понятие о статической характеристике. Живая система по-разному откликается на разные по величине воздействия. Частота сердечных сокращений, потребление кислорода и другие физиологические показатели возрастают при физической работе или эмоциональном возбуждении. Кинематические и динамические характеристики движений меняются при утомлении спортсмена. Наконец, тренированность спортсмена в целом зависит от объема тренировочных нагрузок. Статические характеристики позволяют количественно описать такого рода закономерности.

Термин «статическая характеристика» пришел в спортивную метрологию из теории управления, которая, как известно, занимается изучением статики управления и динамики управления. Статика изучает равновесные, установившиеся состояния системы, которые имеют место при постоянных значениях входных переменных. Динамика изучает переходные процессы, возникающие в системе при изменении входных переменных. При изменении входной переменной от одного постоянного уровня до другого постоянного уровня в системе возникает переходный процесс: выходные переменные начинают изменяться и стремятся к новым установившимся значениям. Эти конечные, установившиеся значения выходных переменных во всем диапазоне изменения входных переменных (от ничтожно малых до предельно больших) и рассматривает статика регулирования. Таким образом, статическая характеристика — это зависимость между установившимися значениями входных и выходных переменных системы.

Прямой метод измерения статической характеристики. Наиболее распространен так называемый прямой метод измерения статической характеристики, состоящий в следующем. Пусть в момент времени t_1 входная переменная системы (N) скачком изменяется от нуля до некоторой постоянной величины N_1 (рис. 7). В ответ в системе разовьется переходный процесс, в результате которого выходная переменная системы (A) изменится от исходного значения A_0 до нового установившегося значения A_1 . Если измерить величины N_1 и A_1 и отложить их на графике с координатами N и A , то в ре-

зультате получим одну точку (точку «1») статической характеристики $A(N)$.

Следующая точка статической характеристики (точка «2») может быть получена аналогичным путем, но при более интенсивном входном воздействии. Для отыскания всей статической характеристики требуется многократно задавать входные воздействия разной величины и регистрировать отклики системы на эти воздействия. Так, статическая характеристика на рис. 7 построена по данным шести измерений, включая

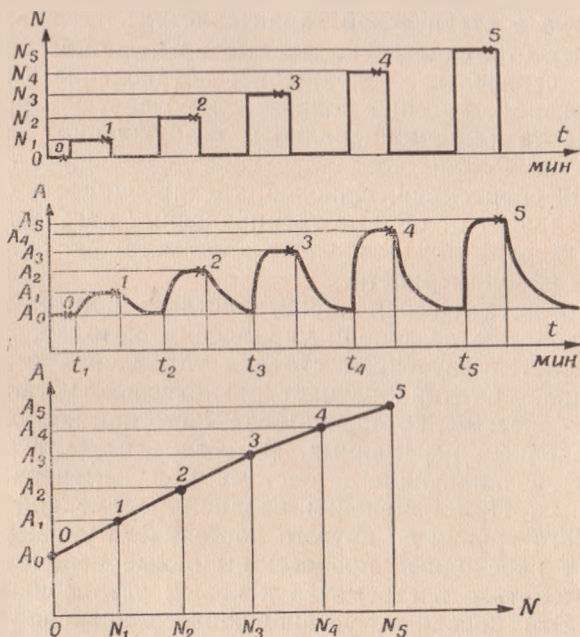


Рис. 7. К пояснению «прямого метода» измерения статических характеристик: а) последовательность измерений, б) статическая характеристика, построенная по результатам измерений.

точку «О», соответствующую отсутствию входного воздействия.

Измерение статической характеристики с помощью линейно-нарастающего воздействия. Рассмотренный только что «прямой» метод измерения статических характеристик весьма трудоемок и его широкое применение в спортивной практике затруднительно, поскольку многократное исследование спортсмена не всегда осуществимо. Хотелось бы получать статические характеристики непосредственно в ходе исследования, превратив этот метод в «одномоментную» функцию-

пальную пробу. Такая возможность была найдена и связана она с использованием линейно нарастающего («рампового») воздействия, когда входная переменная изучаемой системы изменяется во времени по закону: $N(t) = Kt$; $K > 0$.*

Скорость нарастания входного воздействия (K) выбирается исходя из заданной точности измерения и инерционности исследуемой системы, оцениваемой, например, по величине ее постоянной времени (T). Чем меньше K , тем длительнее исследование, но зато и меньше ошибка измерения. В простейшем случае взаимосвязь между абсолютной ошибкой измерения статической характеристики, скоростью нарастания входной переменной (K) и постоянной времени (T) определяется соотношением

$$\Delta(t) = KT \left(e^{-\frac{t}{T}} - 1 \right)$$

Кривые изменения показателей жизнедеятельности при линейно-нарастающем воздействии на спортсмена выглядят так, как это показано на рис. 8А*. Верхняя кривая на этом рисунке соответствует мощности (N) физической нагрузки, а три нижние кривые — длительностям фаз сердечного цикла. На основании такого рода записей легко построить статические характеристики изучаемых систем. Одна из них представлена на рис 8Б (линия с индексом 2). На этом рисунке по горизонтальной оси откладывается развиваемая спортсменом мощность, а по вертикальной оси — частота сердечных сокращений. Для сравнения там же изображена статическая характеристика, измеренная прямым методом (линия с индексом 1). Обе статические характеристики зарегистрированы при исследовании одной и той же группы фигуристов. Различие между ними статистически достоверно. Это различие объясняется инерционными свойствами изучаемой системы (в данном случае — системы кровообращения) и составляет по существу систематическую погрешность измерения статической характеристики методом линейно-нарастающего воздействия. Таким образом, числовые показатели физической подготовленности спортсмена при использовании линейно-нарастающей нагрузки получаются несколько завышенными. Например, величина PWC_{170}^{**} , измеренная методом линейно-нарастающего воздействия, в нашем исследовании оказалась в среднем на $115 \frac{\text{кгм}}{\text{мин}}$ ($P \leq 0,05$) выше, чем величина PWC_{170} , измеренная прямым методом.

* На практике строгое соблюдение линейного закона изменения входной переменной не обязательно.

** Кривые на рисунках 8, 12, 17 получены с помощью вычислительной системы для автоматического фазового анализа сердечной деятельности в период работы автора на кафедре спортивной медицины ГЦОЛИФКа под руководством профессора В. Л. Карпмана.

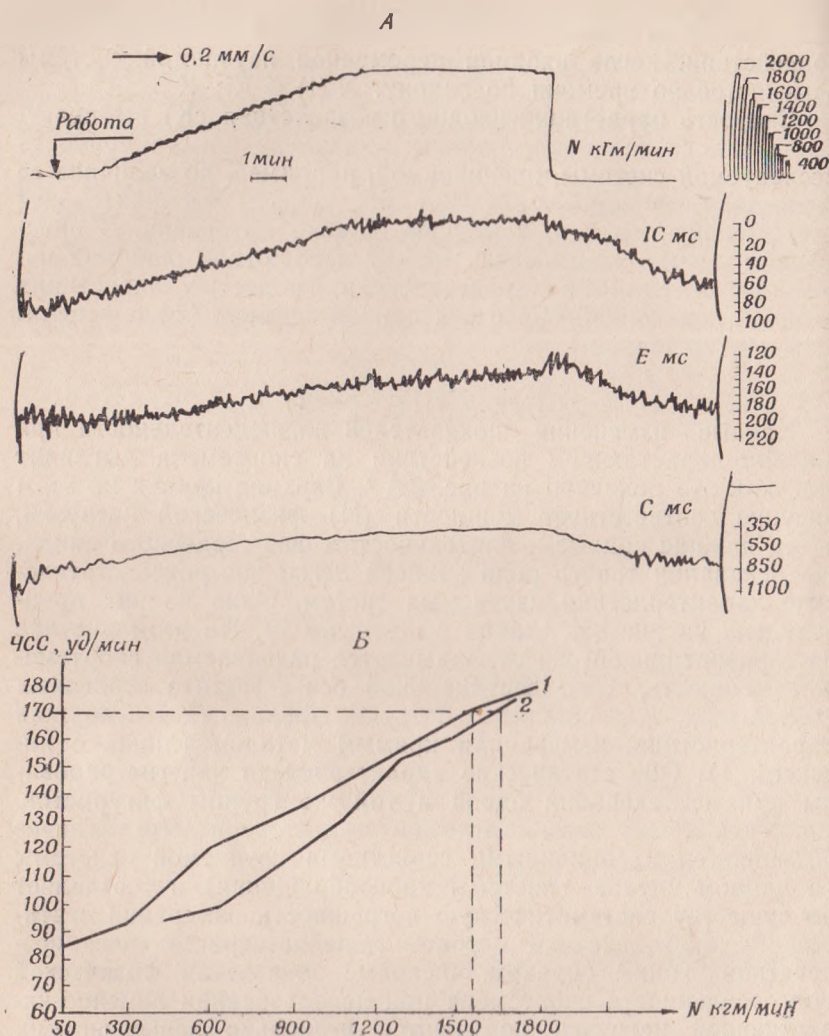


Рис. 8. Измерение статической характеристики методом линейно-нарастающего воздействия:

- А — изменение длительностей фаз сердечного цикла при линейно-нарастающей нагрузке.
- Б — статические характеристики кардиорегуляторных систем, полученные при исследовании фигуристов прямым методом (1) и методом линейно-нарастающего воздействия (2).

Примеры статических характеристик. В качестве первого примера рассмотрим статические характеристики систем, регулирующих частоту и мощность сокращений сердца человека при мышечной работе. Используя функциональный подход, представим названные системы в виде «черного ящика», на вход которого воздействует физическая нагрузка с интенсивностью N , а на выходе регистрируются три переменные: длительность сердечного цикла (C), длительность фазы изометрического (IC) и изотонического (E) сокращения левого же-

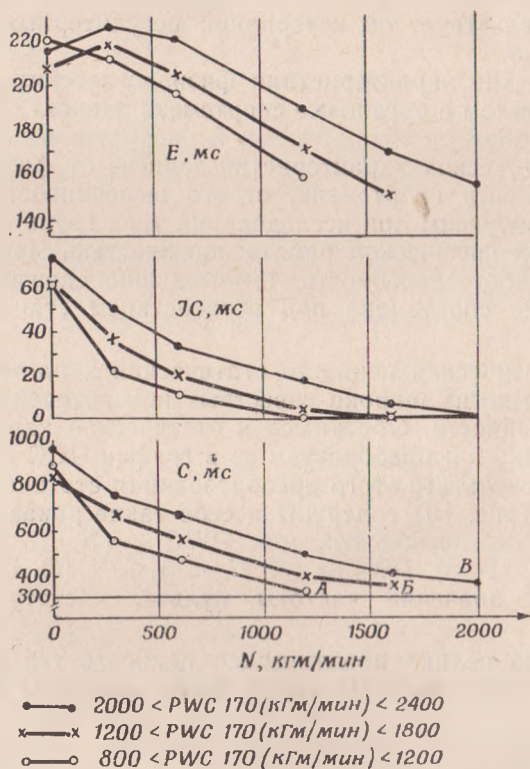


Рис. 9. Статические характеристики систем, регулирующих период и силу сокращений сердца при мышечной работе. Характеристики получены при экспериментальном исследовании спортсменов, физическая работоспособность которых оценена по тесту PWC_{170} и оказалась равной в среднем;

в I группе (А) 1000 кг м/мин

во II группе (Б) 1500 кг м/мин

в III группе (В) 2000 кг м/мин

E — длительность периода изгнания крови из левого желудочка сердца

IC — длительность изометрического сокращения

C — период сердечной деятельности

лудочка сердца. Полученные при исследовании спортсменов статические характеристики $C(N)$ и $IC(N)$ изображены на рис. 9.

При малых нагрузках наблюдается значительное изменение C и IC при изменении N (величины $\frac{\Delta C}{\Delta N}$ и $\frac{\Delta IC}{\Delta N}$ относительно велики). А при нагрузках, близких к предельным, статические характеристики становятся практически горизонтальными (при $N \rightarrow N_{max}$, $\frac{\Delta C}{\Delta N} \rightarrow 0$, $\frac{\Delta IC}{\Delta N} \rightarrow 0$), что свидетельствует об исчерпании регуляторных возможностей сердца.

Статические характеристики физиологических и биомеханических систем в организме спортсмена зависят от индивидуальных особенностей спортсмена. В рассматриваемом примере форма статических характеристик зависит от физической работоспособности спортсмена, от его выносливости. Графики на рис. 9 получены при исследовании трех групп спортсменов с различной физической работоспособностью. Чем выше физическая работоспособность, тем меньшие сдвиги возникают в организме спортсмена под воздействием стандартной нагрузки.

Диагностическая ценность статических характеристик выше, чем у многих широко известных показателей физической работоспособности. Обратимся к статической характеристике $C(N)$ из рис. 9 и преобразуем ее в график ЧСС (N)*. Полученная в результате этого преобразования статическая характеристика (рис. 10) содержит в себе такие показатели физической работоспособности, как PWC_{170} (Л. II—25, 67, 68), PWC_{150} (Л. II—8), PWC_{130} (Л. II—63), LPI (Л. II—64 46)**, предельное значение частоты пульса, частоту пульса в покое.

Особенно велика практическая ценность тех статических характеристик, которые могут быть измерены в условиях тренировки. Например, статическую характеристику ЧСС (N) можно измерить с помощью кардиолидера — прибора, предназначенного для программированного регулирования частоты

* Как известно, длительность сердечного цикла C связана с частотой сердечных сокращений ЧСС соотношением $ЧСС = \frac{60}{C}$, где ЧСС измеряется в уд/мин., а C — в секундах.

** PWC_{170} (PWC_{150} , PWC_{130}) — «физическая работоспособность на пульсе 170 (150, 130) уд/мин» равна мощности, развиваемой спортсменом при такой частоте сердечных сокращений.

LPI — коэффициент, показывающий степень наклона статической характеристики ЧСС (N) по отношению к оси N .

ты сердечных сокращений.* На рис. 11 представлены статические характеристики кардиорегуляторных систем, измеренные у бегунов и велосипедистов на тренировках.

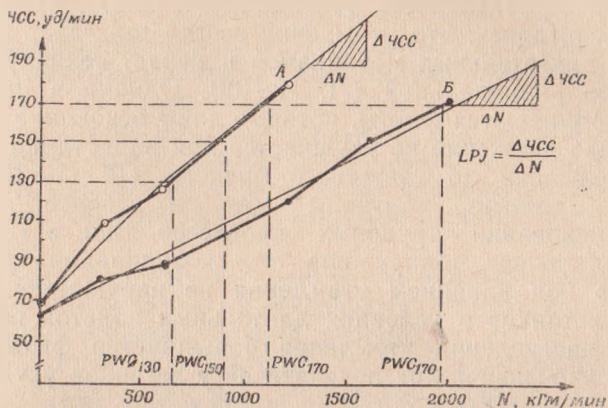


Рис. 10. Статическая характеристика системы, регулирующей частоту сокращений сердца спортсмена при мышечной работе и количественные показатели физической работоспособности у тренированных (Б) и нетренированных (А) спортсменов.

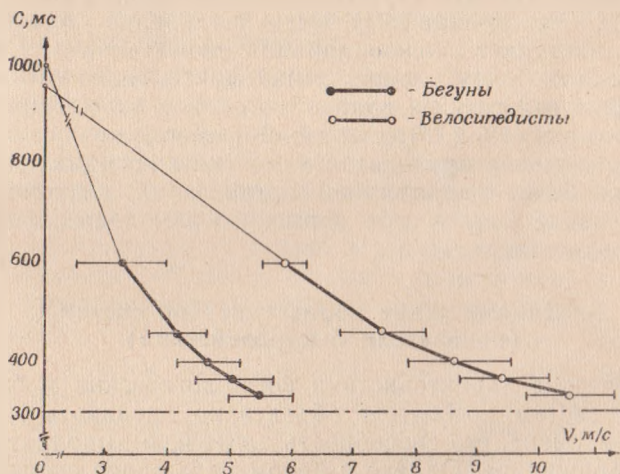


Рис. 11. Статические характеристики кардиорегуляторных систем, измеренные во время тренировок у бегунов и велосипедистов.

* Принцип действия и методика использования кардиолидера подробно рассматриваются в главе VIII, посвященной тренажерам.

Статические характеристики могут играть важную роль при диагностике технической подготовленности спортсмена и, в частности, при изучении вопроса о том, как утомление влияет на эффективность техники движений. До недавнего времени считалось, что утомление всегда вызывает дискоординацию двигательных механизмов и делает технику движений менее рациональной (Л. П—39). Однако в последние годы накапливаются факты, которые дают основание считать, что техника движений не ухудшается при нарастании физического утомления до известного предела (Л. П—19, 34).

Такие данные получены как в спорте, так и при исследовании трудовых процессов. Еще в 1931 году Г. З. Шпильберг обнаружила, что координация ходьбы у грузчиков под влиянием утомления не нарушается. Исследования летчиков в условиях длительных полетов показали, что при наступлении утомления большинство физиологических и психо-физических показателей у летчиков ухудшается, но техника пилотажа остается по-прежнему высокой. В состоянии утомления летчики с большой точностью выполняли движения, обеспечивающие безопасность полета. В. В. Михайлов и его ученики установили, что и для спортсменов высокой квалификации в условиях утомления характерна устойчивость кинематической и динамической структуры движений (Л. П—19). Причем, чем лучше подготовлен спортсмен, тем, по-видимому, выше тот предел утомления, за которым наступает дискоординация двигательных функций. Имеющиеся в нашем распоряжении факты еще не позволяют определенно ответить на вопрос о том, как утомление влияет на технику движений. Можно лишь предположить, что в ряде случаев утомление приводит к изменению координации в направлении более экономичной организации движений. Это предположение таит в себе новые резервы повышения спортивных результатов.

Б. Динамические характеристики систем * (показатели быстроедействия)

Статические характеристики физиологических и биомеханических систем позволяют объективно оценивать выносливость спортсмена, его способность длительно выполнять физические упражнения. Однако в целом ряде видов спорта (фехтование, спринт в циклических видах спорта, прыжки в легкой

* В биомеханике динамическими «характеристиками» принято называть меры силового взаимодействия тел (силу, импульс силы, момент силы и т. д.) и меры инертности тел (массу, момент инерции). Поэтому во избежание терминологической путаницы мы в дальнейшем динамические характеристики систем будем называть показателями быстроедействия.

атлетике и т. д.) ведущим физическим качеством спортсмена является быстрота, способность к «взрывным» действиям*. Как же измерить быстроту спортсмена и быстродействие отдельных систем в его организме?

Традиционные методы оценки быстроты не всегда отвечают требованиям практики. Так, авторы опубликованной в 1966 году в ГДР книги «Тесты в спортивной практике» предлагают оценивать быстроту по времени пробегания «с хода» 25-метрового отрезка дистанции. Понятно, что подобный тест может быть применен не во всех видах спорта и не пригоден для оценки быстродействия отдельных систем человеческого организма.

В теории управления принято оценивать быстродействие системы по ее реакции на ступенчатое, импульсное или синусоидальное изменение входной переменной (Л. II—14. 15. 33, 42). Те методы, при которых входная переменная изменяется по ступенчатому или импульсному закону, называются временными. В основе частотных методов оценки быстродействия лежит измерение отклика системы на синусоидальные изменения входных переменных.

Временные методы измерения быстродействия. Применяя временные методы, о быстродействии (инерционности)** системы судят по форме изменения выходных переменных системы при ступенчатом (скачкообразном) или импульсном изменении входных переменных.

Переходная характеристика. Переходной характеристикой системы называется отклик системы на входное воздействие, имеющее вид ступенчатой функции. Ступенчатые функции широко распространены в спорте, их величина скачком изменяется от нуля до некоторого постоянного уровня. К числу ступенчатых функций относится, например, закон изменения физической нагрузки на старте в циклических видах спорта, где по команде: «Марш!» нагрузка изменяется от нуля до уровня, определяемого протяженностью дистанции.

Примером экспериментально полученных переходных функций системы могут служить изображенные на рис. 12 графики изменения показателей жизнедеятельности спортсмена при выполнении физической работы. В составе каждого из представленных графиков — три характерных участка: вращивание, устойчивое состояние («steady state») и восста-

* Сведения о быстродействии изучаемых систем нужны и для измерения их статических характеристик методом линейно-нарастающего воздействия; оптимальная скорость увеличения входной переменной в этом случае тем выше, чем выше быстродействие системы.

** Инерционность — свойство системы, противоположное быстродействию: чем выше быстродействие, тем ниже инерционность и наоборот.

новление. Второй из них (устойчивое состояние) несет информацию о статических характеристиках системы. При исследовании быстродействия все внимание концентрируют на переходных процессах — вработывании и восстановлении. И при вработывании, и при восстановлении кривые переходных процессов могут иметь очень сложную форму. Из всего многооб-

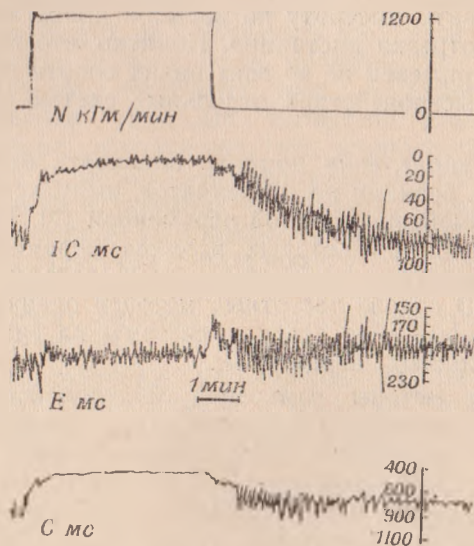


Рис. 12. Графики переходных характеристик систем, регулирующих сердечную деятельность при физической работе:

- N — интенсивность физической работы (входная переменная)
- IC — длительность фазы изометрического сокращения
- E — длительность фазы изгнания
- C — длительность сердечного цикла

разия форм переходной функции выделим: аperiodическую (рис. 13 А, В) и колебательную (рис. 13 Б, Г), с перерегулированием (рис. 13 Б, В) и без перерегулирования (рис. 13 А, Г).

Независимо от формы переходной характеристики, для оценки быстродействия системы используются следующие величины, называемые иногда показателями качества регулирования (см. рис. 13): время регулирования t_p — интервал времени от начала переходного процесса до того времени, когда отклонение регулируемой величины от ее нового установившегося значения не будет превышать 5% этого значения; время установления t_y — интервал времени от начала пе-

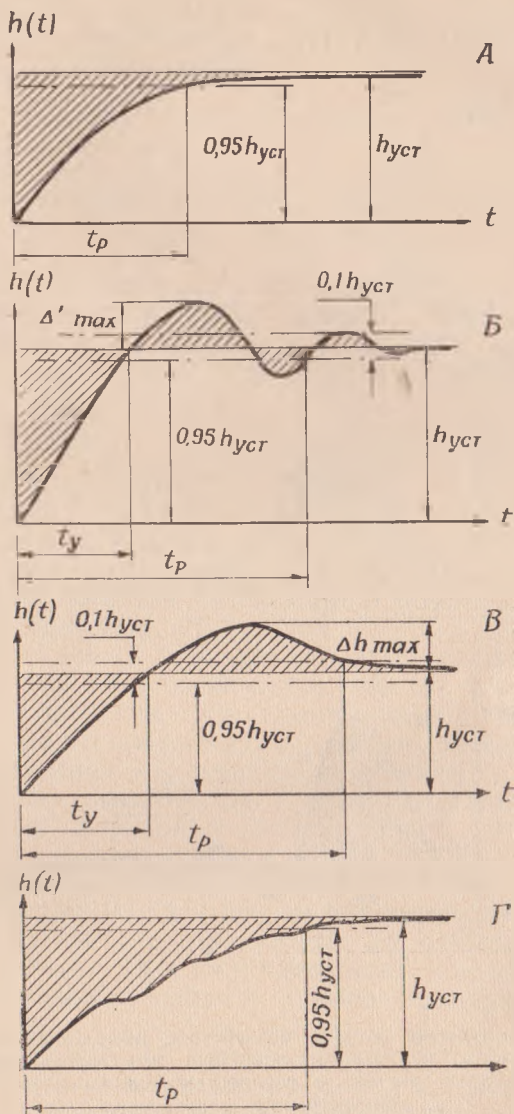


Рис. 13. Разновидности форм переходной характеристики и ее количественные показатели (пояснения в тексте).

реходного процесса до того момента, когда регулируемая величина в первый раз достигнет своего нового установившегося значения; **площадь отклонения S** — площадь геометрической фигуры, ограниченной реально получае-

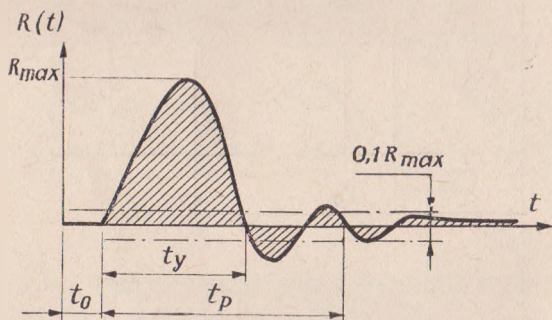
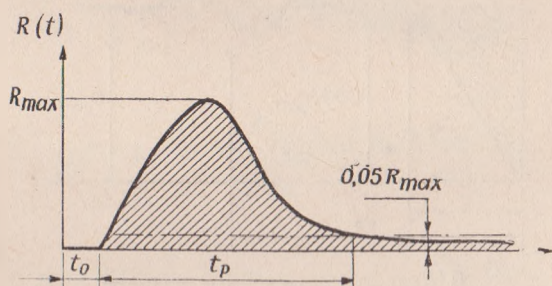
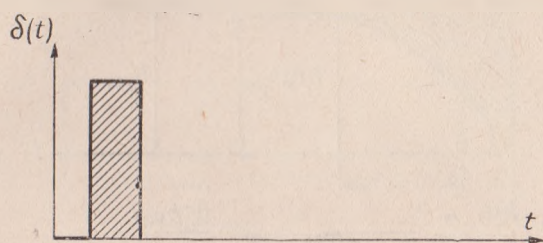


Рис. 14. Импульсное входное воздействие, импульсная переходная характеристика без перерегулирования, импульсная переходная характеристика с перерегулированием и их количественные показатели.

мой и желаемой (идеальной) переходными характеристиками; если идеальной формой переходной характеристики считают ступенчатую функцию, то говорят не о площади отклонения, а о **площади регулирования** — S_p .

Иногда для оценки качества регулирования в системе с перерегулированием используют показатель перерегулирования (или просто «перерегулирование») — Δh_{\max} , а также «относительное перерегулирование» $\frac{\Delta h_{\max}}{h_{уст}}$, где Δh_{\max} — наибольшее отклонение регулируемой величины от нового установившегося значения.

Импульсная переходная характеристика. Импульсной переходной характеристикой системы называется отклик системы на внешнее воздействие, имеющее форму импульсной функции (рис. 14).

В свою очередь, импульсной функцией называется такая, которая за бесконечно малый промежуток времени успевает измениться от нуля до бесконечности и вновь вернуться к исходному нулевому уровню. Но, поскольку бесконечно малых и бесконечно больших величин в спорте не встречается, к импульсным функциям относятся все зависимости, сходные с изображенной на рис. 14 А. Обязательным требованием к импульсной функции остается то требование, чтобы интервал времени, в течение которого значение функции не равно нулю, был достаточно мал по сравнению с общим временем наблюдения. Характерным примером импульсной функции может служить график изменения интенсивности физической работы при спринтерском беге.

При использовании импульсного входного воздействия быстродействие системы оценивается теми же показателями, что и при использовании ступенчатого входного воздействия. В их числе время регулирования — t_p , время достижения установившегося значения — t_y , площадь отклонения S_0 и площадь регулирования S_p (рис. 14 Б, В). Пример измерения импульсных переходных функций у спортсменов представлен на рис. 15.

Частотные методы измерения быстродействия системы. В основе частотных методов оценки быстродействия системы лежит исследование реакции системы на синусоидальные* входные воздействия. При этом чаще всего измеряют амплитудно-частотную характеристику и фазо-частотную характеристику.

* Синусоидальные колебания отличаются тем, что большинство периодических и аperiodических функций (прямоугольные, треугольные и т. д.) могут быть представлены в виде суммы синусоид определенной амплитуды, частоты и фазы.

Операция разложения сложного сигнала на сумму синусоид называется спектральным анализом; ее математические основы разработаны французским математиком Фурье. Читатель может подробно ознакомиться со спектральным анализом, прочитав книгу А. А. Харкевича «Спектры и анализ» (1953).

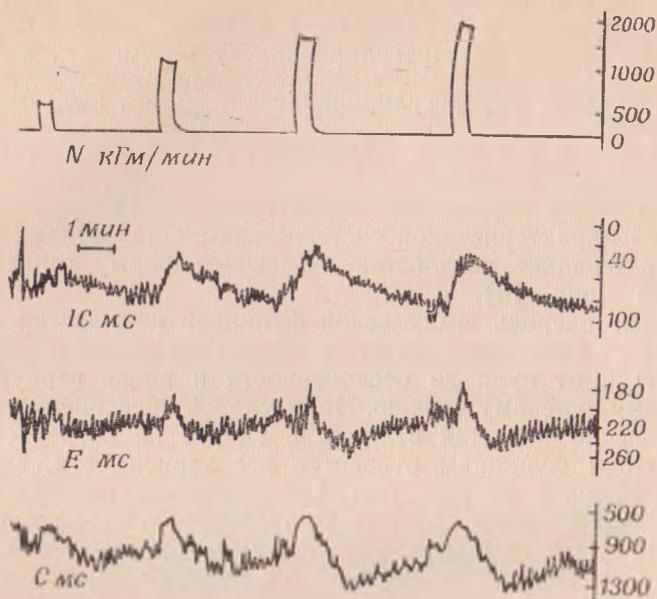


Рис. 15. Запись импульсных переходных функций кардиорегуляторных систем:

N — мощность нагрузки

IC — длительность фазы изометрического сокращения

E — продолжительность фазы изгнания крови из левого желудочка

C — период сердечной деятельности

Так же, как и в примерах на рис. 8, 12 и 17, все измерения выполнены автоматически с помощью вычислительной машины, предназначенной для автоматического фазового анализа сердечной деятельности

Амплитудно-частотная характеристика. Амплитудно-частотная характеристика системы представляет собой график, на котором по горизонтальной оси откладывается частота синусоидального входного воздействия, а по вертикальной оси — коэффициент передачи, равный отношению амплитуд синусоидальных сигналов на выходе и на входе системы: $K_{\Pi} = \frac{Am_{\text{вых}}}{Am_{\text{вх}}}$

Процедуру измерения амплитудно-частотной характеристики иллюстрирует рис. 16. На вход исследуемой системы одно за другим подаются несколько синусоидальных воздействий различных частот, а на выходе регистрируются отклики системы на эти воздействия. Пример результатов исследования сердечной деятельности спортсмена в условиях синусоидального изменения интенсивности мышечной работы представлен на рис. 17.

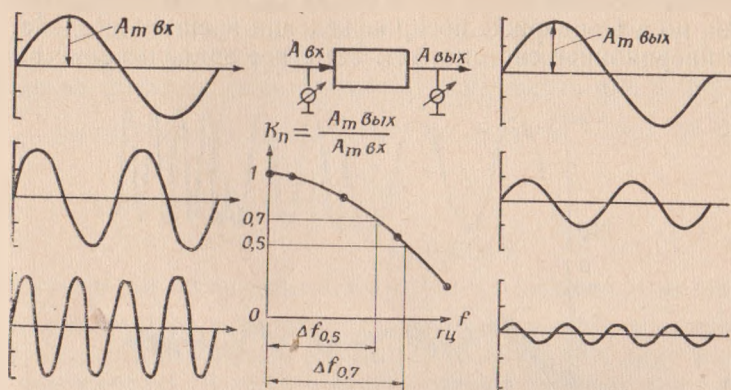


Рис. 16. Измерение амплитудно-частотной характеристики:

- $A_{вх}$ — амплитуда входной переменной
 $A_{вых}$ — амплитуда выходной переменной
 f — частота изменения входной переменной
 K — коэффициент передачи системы

При постоянной величине входной переменной ($A_{м вх}$) снижение амплитуды колебаний выходной переменной ($A_{м вых}$) характеризует быстроедействие системы. Чем инерционнее система, тем ниже частота, на которой снижение уровня выходной переменной становится заметным. Количественным показателем быстрогодействия системы в данном случае является полоса пропускания (Δf) — область частот, в которой коэффициент передачи (K) системы уменьшается по сравнению с максимальным коэффициентом передачи не более, чем в определенное число раз. На практике говорят о «полосе пропускания по уровню 0,7» ($\Delta f_{0,7}$), «полосе пропускания по уровню 0,5» ($\Delta f_{0,5}$) и т. д. (см. рис. 16).

Фазо-частотная характеристика. Фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) называется график, по горизонтальной оси которого откладывается частота синусоидального сигнала, а по вертикальной оси — измеренный в градусах или радианах фазовый сдвиг* (сдвиг по фазе) между колебаниями выходной переменной и колебаниями входной переменной.

* Слово «фаза» имеет несколько значений. В биомеханике фазой называется элемент движения, в котором решается определенная двигательная задача. В теории систем говорят о фазовом пространстве, подразумевая под этим пространство состояния системы. В радиотехнике и теории регулирования под фазой понимают измеряемую в угловых единицах задержку синусоидального сигнала относительно другого синусоидального сигнала той же частоты.

Инерционность всякой реальной системы проявляется не только в относительном ослаблении высокочастотных воздействий, но и в задержке воспроизведения внешних воздействий. Чем инерционнее система, тем заметнее запаздывание выход-

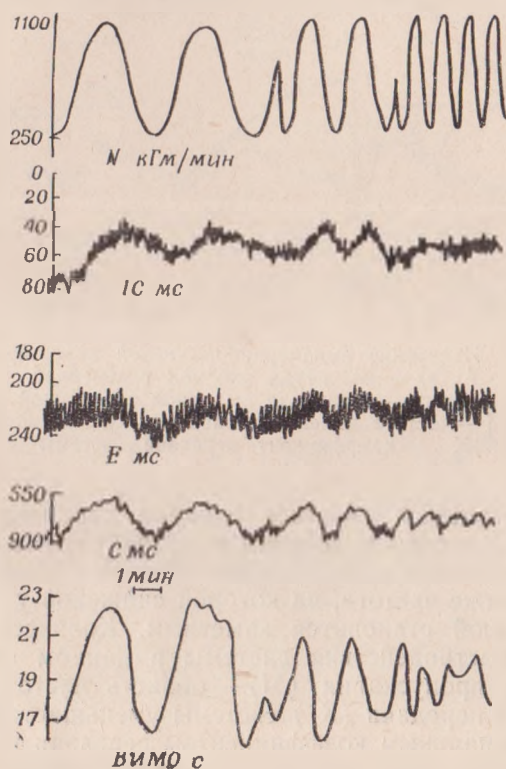


Рис. 17. Графики изменения развиваемой спортсменом мощности (входная переменная) и длительности основных фаз сердечного цикла (выходные переменные) при частотном анализе физиологических систем регулирования сердечной деятельности:

IC — изометрическое сокращение левого желудочка сердца

E — период изгнания крови

C — длительность сердечного цикла

ВИМО — время изгнания минутного объема крови

ного сигнала по отношению ко входному. Величина этого запаздывания определяется фазо-частотной характеристикой.

Фазо-частотная характеристика измеряется аналогично амплитудно-частотной. Разница состоит лишь в том, что при измерении фазо-частотной характеристики нас интересует не отношение амплитуд входного и выходного сигналов, а сдвиг

фаз между ними. При измерении фазо-частотной характеристики вручную синусоидальные сигналы со входа и выхода системы совмещают на ленте двухканального самописца, затем измеряют временной сдвиг Δt между синусоидами на выходе и на входе системы. Зная частоту (f) синусоиды или ее период

$T = \frac{1}{f}$, вычисляют фазовый сдвиг на частоте f (Гц) по формуле:

$$\Delta\phi \text{ (град.)} = 360 \cdot \frac{\Delta t \text{ (с)}}{T \text{ (с)}}$$

В. Особенности функционального анализа многомерных систем

До сих пор мы рассматривали методы анализа простейших систем, содержащих одну входную переменную и одну выходную переменную. В спорте более распространены многомерные системы, содержащие несколько входных и несколько выходных переменных. Функциональный анализ многомерных систем отличается от анализа простейших (одномерных) систем большей трудоемкостью и сводится к вычислению **передаточной матрицы**. Рассмотрим это понятие.

Пусть систему характеризуют m входных и n выходных существенных переменных. Например, мастерство спортсмена характеризуется его физической, технической, психологической и тактической подготовленностью ($n = 4$) и зависит от объема тренировочных нагрузок, сопровождающего тренировки «эмоционального фона» и состояния здоровья спортсмена ($m = 3$). Свойства такой системы наиболее полно могли бы быть описаны передаточной матрицей, упрощенная математическая запись которой выглядит следующим образом:

$$W = \begin{vmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} \end{vmatrix}$$

Члены передаточной матрицы $W_{11}, W_{12} \dots W_{43}$ называются передаточными функциями и показывают, как меняются выходные переменные при изменении входных переменных. Так, передаточная функция W_{11} позволяет предсказать отклик выходной переменной «I» (в данном примере — физической подготовленности спортсмена) на любые изменения входной переменной «I» (объем тренировочной нагрузки). Если в результате тренировки, вследствие утомления или по какой-то другой причине в изучаемой системе произойдут изменения, то соответственно изменятся и ее передаточные функции.

Каждая передаточная функция включает в себя статический и динамический компонент и может быть определена, если известна статическая характеристика и один из показателей быстродействия. Всего же для отыскания передаточной матрицы нужно измерить $m \cdot n$ статических характеристик и $m \cdot n$ показателей быстродействия.

3. ОСНОВЫ СИСТЕМНО-СТРУКТУРНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СИСТЕМ

Функциональный подход к анализу систем играет сегодня важную роль в спорте, но не позволяет решить всех задач спортивной практики. Наиболее сложные из них (совершенствование техники движений, анализ тактической подготовленности и др.) могут быть решены лишь с помощью системно-структурных методов анализа систем.

Системно-структурный подход стремится к познанию внутреннего строения системы. Он направлен на выявление и изучение отдельных ее элементов и способов их взаимодействия, а также на отыскание путей синтеза из этих элементов системы с требуемыми свойствами.

Возникновение системно-структурного подхода, как отмечают И. В. Блауберг и Э. Г. Юдин (1973), «связано с преодолением кризиса, охватившего научное познание на рубеже XIX—XX веков... Этот кризис был связан с крутой ломкой мировоззренческих постулатов классической науки, с выдвиганием новых принципов познания, а его непосредственным положительным результатом стала революция в естествознании. С методологической точки зрения весьма знаменательно, что эта революция совершалась не только и порой даже не столько за счет накопления эмпирического материала..., сколько за счет радикального пересмотра понятийного аппарата в ведущих отраслях знания».

Системно-структурный подход находит практическое применение при поиске оптимальных вариантов техники движений. Начиная с работ Н. А. Бернштейна по теории построения движений, его последователи неизменно выдвигают на первое место идею системного построения слитного двигательного действия и делят задачу системно-структурного исследования движений на три частные задачи: определение состава системы, определение структурных взаимоотношений между элементами системы и, наконец, изучение механизма функционирования системы в целом.

А. Методы изучения состава систем

В современной теории движений разработаны практические приемы выделения подсистем как временных элементов

системы движений (Х. Х. Гросс, Д. Д. Донской, 1971). Эти правила облегчают разделение движения на части («фазы») и сводятся к следующему:

1) каждая фаза движения должна существенно отличаться от соседних;

2) каждая фаза должна иметь строго определяемые границы;

3) момент смены фаз должен совпадать с моментом изменения ведущей двигательной задачи;

4) при делении двигательного действия на фазы должны приниматься во внимание движения всех частей тела.

Соблюдение перечисленных правил обеспечивает успех в изучении широкого круга физиологических и биомеханических систем — от системы движений до систем, управляющих работой внутренних органов. За иллюстрацией сказанного обратимся к фазовому анализу движений из исследования Л. С. Зайцевой (1974) по технике ударных действий в теннисе, фазовому анализу движений лыжника из работ Д. Д. Донского и Х. Х. Гросса (Л. I—5, II—16) и к фазовому анализу сердечной деятельности (В. Л. Карпман, 1965). Названные методики удовлетворяют перечисленным выше правилам, чем в значительной мере определяется их плодотворность для биомеханики, кардиологии и тренерской практики. Четкое разделение движения лыжника на фазы послужило прогрессу лыжной техники и росту результатов в этом виде спорта. А четкое разделение сердечного сокращения на фазы позволило автоматизировать процесс фазового анализа и предложить критерии физической подготовленности, основанные на измерении длительности фаз сердечного цикла при физической нагрузке.

Б. Методы изучения структуры систем

При одном и том же составе системы ее структура может быть различной в зависимости от характера связей между элементами. Изменения в структуре закономерно приводят к изменению функциональных свойств системы. Так, хорошо известно, что число нейронов головного мозга с возрастом не увеличивается. И совершенствование умственных способностей человека при его развитии (в онтогенезе) никак нельзя объяснить количественными изменениями состава больших полушарий. По-видимому, своими знаниями и навыками взрослый человек обязан прежде всего способности центральной нервной системы внутренне перестраиваться, изменять и совершенствовать свою структуру.

Изучение структуры живых систем сопряжено со значительными трудностями. Анатомические и физиологические ме-

тоды, даже если они и могут быть применены, часто оказываются неэффективными ввиду того, что хирургическое вмешательство, как и любое нарушение нормальной жизнедеятельности системы, приводит к ошибкам. При изучении структуры систем в спортивной практике чаще всего используют регрессионный и корреляционный анализ (Л. 11—13, 17, 18, 22, 23, 28, 29, 30), а также факторный анализ (Л. 11—54) и дисперсионный анализ (Л. 1—8, 14).

Идея корреляционного и регрессионного анализа

Теория корреляции (от английского *correlation* — связь, соотношение) занимается изучением взаимосвязи между переменными. В основе корреляционного анализа лежит предположение о том, что если два элемента (или две переменные) X и Y связаны между собой, то изменение X закономерно приведет к изменению Y . Например, между специальной физической подготовленностью спортсмена (X) и его результатом в соревнованиях (Y) существует связь. Количественной мерой тесноты связи служит коэффициент корреляции, который тем выше, чем сильнее связаны между собой X и Y . Наиболее распространенный «линейный» коэффициент корреляции можно вычислять лишь при выполнении определенных, весьма строгих требований к экспериментальному материалу. Необходимо, чтобы изучаемая выборка была результатом случайного отбора и обе измеренные величины подчинялись закону нормального распределения. В практике спортивных измерений эти требования не всегда могут быть выполнены, и в этих случаях вместо коэффициента корреляции вычисляют коэффициент регрессии.

Регрессионный анализ накладывает значительно меньшие ограничения на исходный экспериментальный материал. Требуется лишь, чтобы все измерения проводились в одних и тех же условиях и чтобы одна из двух взаимосвязанных переменных была случайной величиной с нормальным законом распределения. Вторая переменная может иметь как случайные, так и заранее запланированные значения.

Цель регрессионного анализа — отыскать формулу (уравнение регрессии) и график (линию регрессии), связывающие между собой средние значения изучаемых переменных. Линия регрессии наглядно отражает характер связи между изучаемыми величинами, и потому исследование взаимосвязи часто начинают с более простого — регрессионного анализа, а затем уже переходят к более сложному — корреляционному анализу.

Смысл коэффициента корреляции поясняет рис. 18, представляющий собой «корреляционное поле» двух переменных.

результата в прыжке в длину с места (X) и результата в прыжке в длину с разбега (Y). Точки на корреляционном поле соответствуют результатам одновременно проведенных измерений обеих переменных и образуют так называемый «эллипс рассеивания». Эллипс рассеивания в данном примере определенным образом ориентирован: чем выше результат в прыжке с места, тем в среднем выше и результат в прыжке с разбега. Линия регрессии проводится на корреляционном по-

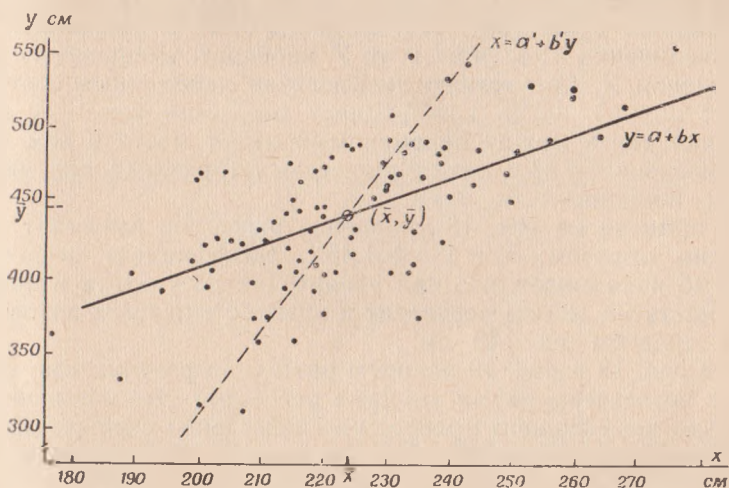


Рис. 18. Корреляционное поле — результат измерения длины прыжка с места (X) и длины прыжка с разбега (Y) у 92-х испытуемых — (по Меккола, 1973).

ле и может быть как линейной, так и нелинейной. Анализ линейных зависимостей благодаря своей простоте приносит практике большую пользу. Уравнение линейной регрессии $Y = a + bX$ включает в себя значения изучаемых величин (X и Y) и два коэффициента: «а» и «в». Коэффициент «а» равен значению Y при $X=0$ и имеет ту же размерность, что и Y . Коэффициент «в» называется коэффициентом регрессии и показывает, на сколько в среднем изменяется Y при изменении X на единицу.

При построении линии регрессии чаще всего стремятся к тому, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек (по вертикали) от линии регрессии была минимальна. Иногда линию регрессии согласно этому правилу строят «на

глазок», но лучше пользоваться приведенными ниже формулами:

$$b = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}; \quad a = \bar{Y} - b\bar{X};$$

где \bar{X} и \bar{Y} — средние арифметические значения измеренных величин.

В зависимости от характера связи между X и Y коэффициент регрессии может быть положительным, отрицательным или равным нулю (рис. 19). Если $b > 0$, то Y увеличивается при увеличении X ; если $b < 0$, то Y , наоборот, уменьшается при увеличении X . Отсутствию взаимосвязи переменных соответствует случай, когда коэффициент регрессии $b = 0$. А наибольшая связь между переменными имеет место в том случае, когда $b = \pm 1$, и линия регрессии направлена под углом 45° к координатным осям.

В примере на рис. 18 уравнение регрессии выглядит следующим образом: $Y = 135 + 1,45X$. Коэффициент регрессии $b = 1,45$ показывает, что при увеличении результата в прыжке с места на 100 см результат в прыжке с разбега возрастает в среднем на 145 см.

На рис. 18 и рис. 19 эллипсы рассеяния результатов измерения пересечены двумя линиями регрессии. Это объясняется тем, что коэффициенту регрессии свойственен серьезный недостаток — двузначность. На одном и том же корреляционном поле можно провести две линии регрессии: линию регрессии $Y = a + bX$ и линию регрессии $X = a' + b'Y$. Очевидно, что коэффициенты регрессии b и b' не равны, хотя и являются результатом одних и тех же измерений.

Вычисление коэффициента корреляции. В результате корреляционного анализа вычисляется коэффициент корреляции, имеющий следующие свойства:

1) величина коэффициента корреляции всегда лежит в пределах от -1 до $+1$;

2) если коэффициент корреляции положителен, то увеличение одной переменной влечет за собой увеличение другой, а если отрицателен, то изменения переменных разнонаправлены: увеличение одной приводит к уменьшению другой;

3) если коэффициент корреляции равен нулю, то связь между переменными отсутствует, и изменения одной из них никак не влияют на величину другой;

4) значения коэффициента корреляции $+1$ и -1 свидетельствуют об однозначной связи между переменными.

Приступая к вычислению коэффициента корреляции, необходимо:

- 1) исследовать законы статистического распределения величин X и Y ;
- 2) определить, линейна или нелинейна связь между X и Y ;
- 3) установить, по шкалам какого типа измерены величины X и Y , и выбрать способ вычисления коэффициента корреляции (см. таблицу I и Л. II—13).

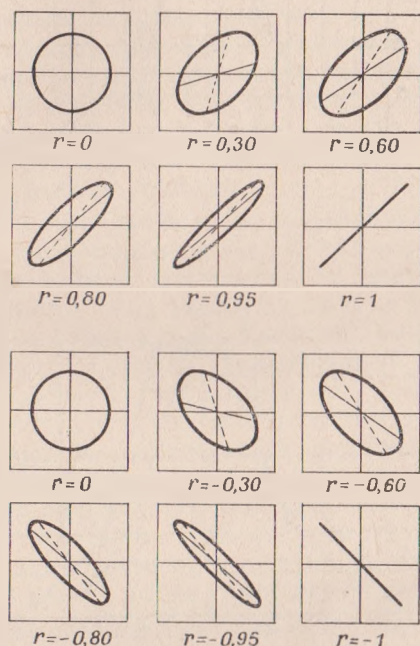


Рис. 19. Форма эллипса рассеяния и коэффициент корреляции.
(по Мёкота, 1973) — переработано.

Выполним перечисленные операции на примере задачи о связи между результатом в прыжке с места (X) и результатом в прыжке с разбега (Y) — рис. 18. Прежде всего построим полигоны величин X и Y , для чего разделим шкалы X и Y на интервалы и подсчитаем число результатов, попавших в каждый интервал. Итог этой операции представлен на рис. 20. На этом же рисунке пунктиром изображены теоретические кривые нормального распределения. Сравнивая экспериментальные графики с теоретическими по критерию χ^2 (Л. I—8) или критерию А. Н. Колмогорова (Л. II—55), убедимся в том, что законы статистического распределения результатов в прыжке с места и в прыжке с разбега можно считать нормальными.

И, наконец, (см. гл. I) и X, и Y могут быть измерены по шкале отношений. Следовательно, в данном случае количест-

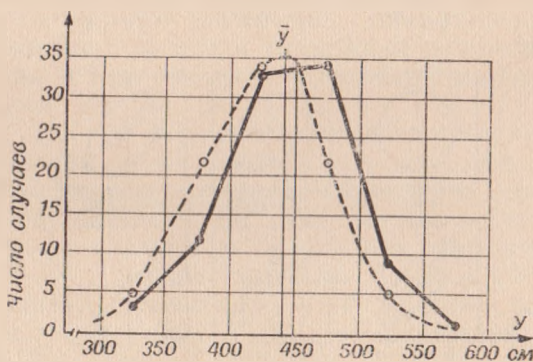
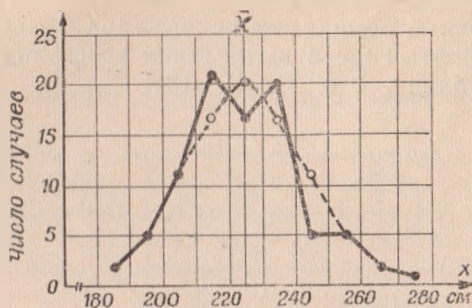


Рис. 20. Полигоны результатов в прыжке с места (X) и с разбега (Y), построенные при анализе корреляционного поля на рис. 18.

венной мерой связи между Y и X может служить «линейный коэффициент корреляции Пирсона»

$$r = \frac{\Sigma (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{n \sigma_x \sigma_y}$$

где \bar{X} и \bar{Y} — средние арифметические значения X и Y, σ_x и σ_y — стандартные отклонения; n — число пар измерений.

Пример вычисления r и форма расчетной таблицы встретятся читателю в главе III.

Наряду с линейным коэффициентом корреляции Пирсона, в практике спортивных измерений используются:

— ранговый коэффициент корреляции Спирмена (Л. II—13, с. 158);

— ранговый коэффициент корреляции Кендалла (Л. II—13, с. 162);

— нелинейный коэффициент корреляции η , или «корреляционное отношение» (Л. II—13, с. 138).

Корреляционный анализ многомерных объектов имеет свои особенности. При изучении многомерных систем (а именно они и служат обычно предметом системно-структурного исследования) вычисляется корреляционная матрица, состоящая из коэффициентов корреляции. Анализ корреляционной матрицы позволяет определить вклад каждого из изучаемых показателей в работу системы.

Предположим, что какие-то из переменных изучаемой системы имеют определяющее значение для оценки ее качества (скорость передвижения спортсмена по дистанции в циклических видах спорта, сила удара по мячу и точность попадания в спортивных играх и т. д.). Вычислив коэффициенты корреляции между этими важнейшими переменными и всеми остальными переменными (длительности фаз, величины усилий и т. д.),— можно оценить вклад каждого элемента в результат деятельности системы. По окончании всех расчетов выясняется, что одни элементы системы существенно влияют на результат ее работы, а влиянием других элементов можно пренебречь. Понятно, что внимание тренера в дальнейшем будет обращено в первую очередь на те элементы системы движений, от которых преимущественно зависит результативность действий спортсмена.

Пример корреляционной модели приведен на рис. 21. Аналогичные работы выполнены в лыжном спорте Д. Д. Донским и Х. Х. Гроссом (Л. II—16).

При исследовании многомерных объектов наряду с коэффициентами парной корреляции вычисляют коэффициент частной корреляции, который позволяет при количественной оценке взаимовлияния двух переменных исключить влияние остальных переменных. Например, если исследуется зависимость результата в прыжке с разбега (переменная Y) от результата в прыжке с места (переменная X) вне зависимости от роста атлета (переменная Z), то нужно вычислить коэффициент частной корреляции по формуле:

$$r_{xyz} = \frac{r_{xy} - r_{xz} \cdot r_{yz}}{1 - r_{xz}^2 - (1 - r_{yz}^2)^2},$$

где r_{xy} — коэффициент корреляции между результатами;

r_{zx} — коэффициент корреляции между результатами в прыжке с места и ростом;
 r_{yz} — коэффициент корреляции между результатом в прыжке с разбега и ростом.

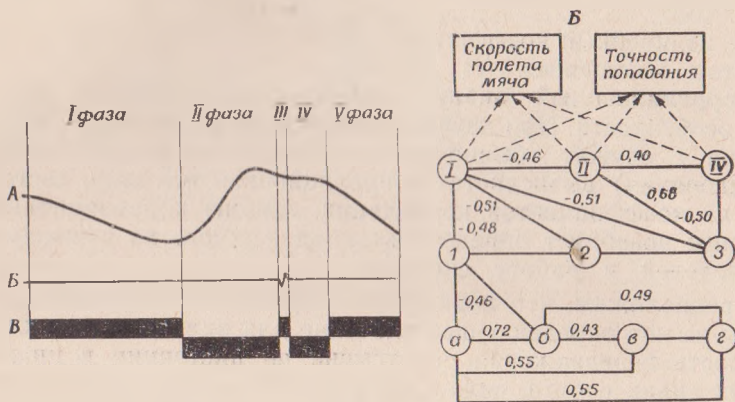


Рис. 21. А. Фазовый состав ударного действия в теннисе: А — изменение угла в локтевом суставе руки теннисиста, Б — тензометрическая отметка удара, В — хронограмма.

I фаза — ударное движение ракетки назад для замаха;

II фаза — ускоренное движение ракетки вперед;

III фаза — взаимодействие ракетки с мячом;

IV фаза — возвращение ракетки в исходное положение

Б. Корреляционная модель структуры ударного действия в теннисе.

Показатели фазового состава ударного действия:

I — длительность I фазы;

II — длительность II фазы;

IV — длительность IV фазы;

Морфо — функциональные характеристики спортсмена

1 — рост, 2 — вес, 3 — сила мышц.

Угол в локтевом суставе:

а) в исходном положении; б) в конце I фазы;

в) в конце II фазы; г) в конце IV фазы.

Цифры соответствуют величинам коэффициентов корреляции между переменными (по материалам Л. С. Зайцевой, 1974) — переработано

Вычисление частного коэффициента корреляции позволяет избежать многих ошибок при интерпретации результатов корреляционного анализа, поскольку дает возможность отделить истинные корреляции от «ложных», обусловленных не столько взаимосвязью между изучаемыми переменными, сколько одновременным влиянием на них посторонних факторов (Л. II—5, 13).

Теория спортивных измерений — еще далеко не законченное здание. Это скорее новостройка, завершенная лишь в са-

мых общих чертах, но уже способная решать задачи спортивной практики. Совершенствование и упорядочение принципов спортивных измерений — задача первостепенной важности, ибо «...нет ничего практичнее хорошей теории». В конечном счете разработка теоретических основ спортивных измерений направлена на повышение точности измерений, и именно этой проблеме посвящена следующая глава.

ГЛАВА III. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ad augusta per angusta.

Трудными путями к блестящим результатам.
(лат.)

Тренеру хоккейной команды предстояло оценить скоростные качества игроков. Мерой скоростной подготовленности решили считать время пробегаания хоккеистом 30-метрового отрезка. Все 20 игроков прошли тестирование. Но результаты озадачили тренера: разница между лучшим и худшим результатами составила всего 0,5 секунды; того же порядка была и ошибка измерения, поскольку отрезки времени «засекались» секундомером. Понятно, что никаких практических выводов на основе этого исследования сделать не удалось. Причина неудачи — низкая точность измерений и неудачно выбранный тест.

Этот случай из практики очень показателен. И простые спортивно-педагогические тесты, и более сложные теоретические подходы к задачам спортивных измерений могут оказаться неэффективными, если не принять мер для устранения погрешностей измерения. Повысить точность измерений можно путем повышения точности измерительной аппаратуры и, что особенно важно при спортивных измерениях, путем повышения качества применяемых тестов (рис. 22).

1. КАЧЕСТВО ТЕСТОВ.

В современном спорте известны сотни педагогических и медицинских тестов. Специальные журналы ежемесячно приносят сообщения о новых способах тестирования спортсменов. Но лишь немногие тесты прошли проверку на надежность, информативность и объективность и получили благодаря этому «метрологический знак качества» (III—6, 7, 12, 13, 21, 36). Качество же подавляющего большинства тестов вообще никогда не проверялось.

Думается, что каждый тренер должен уметь проверить используемые им тесты на надежность, информативность и объ-

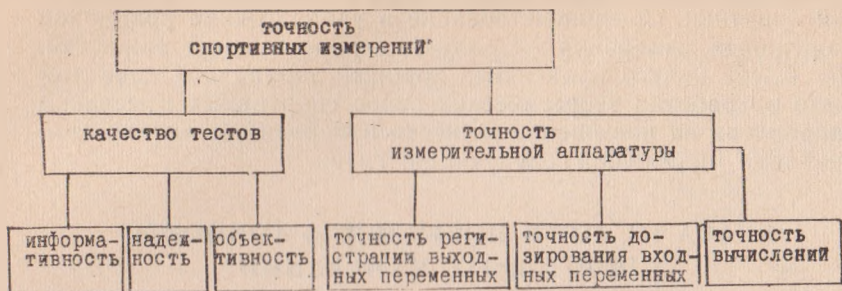


Рис. 22. Важнейшие факторы точности спортивных измерений.

ективность. И, безусловно, такой проверке нужно подвергать всякий новый тест, рождающийся в научно-исследовательской лаборатории. Для проверки информативности, надежности и объективности тестов применяют методы корреляционного и дисперсионного анализа.

Информативность теста

Информативность показывает, в какой мере тест способен оценивать интересующий нас показатель подготовленности спортсмена. Мерой информативности обычно служит «коэффициент информативности» — коэффициент корреляции между результатами тестирования и результатами измерения критерия информативности (Л. III—25, 35, 36). Роль критерия информативности может выполнять результат, показанный спортсменом в соревнованиях, или результат другого, заведомо более информативного теста. Например, оценить информативность теста PWC_{170} (II—25) можно, вычислив коэффициент корреляции между PWC_{170} и техническим результатом спортсмена или коэффициент корреляции между PWC_{170} и величиной максимального потребления кислорода.

Для примера рассчитаем коэффициент информативности теста по экспериментальным данным, полученным тренером Г. М. Ефремовым. Готовя команду гребцов-байдарочников к очередному сезону, Г. М. Ефремов дважды, в апреле и в июне провел их углубленное исследование и в том числе измерил физическую работоспособность каждого спортсмена (по тесту PWC_{170}) и результат на дистанциях 500 м и 1000 м (табл. 4.). Математическая обработка экспериментальных данных принесла следующие результаты:

Исследование информативности PWC_{170} как теста физической подготовленности гребцов на байдарке (по данным Г. М. Ефремова).

Время проведения исследований	апрель		июнь					
	PWC_{170} (кг/мин)	результат на дистанции (мин · с)		PWC_{170} (кг/мин)	PWC^*_{170}	результат на дистанции (мин · с)		Спец тест
500 м		1000 м	500 м			1000 м	нм кг	
								Результаты каждого спортсмена

PWC^*_{170} — величина PWC_{170} , отнесенная к весу спортсмена.

Таблица 5

Пример расчета коэффициента информативности теста.

Тест	Критерий	Промежуточные результаты расчета коэффициента корреляции между величинами X и Y						
PWC_{170} (кг/мин)	время на дистанции 500 м (с)							
условные обозначения		X	Y	$X - \bar{X}$	$Y - \bar{Y}$	$(X - \bar{X})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$	$(X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})$
		1950	111	+170	-10	28900	100	-1700
		2050	119	+270	-2	72900	4	-540
		1715	127	-65	+6	4225	36	-390
		2000	118	+220	-3	48400	9	-660
		1615	125	-165	+4	47225	16	-660
		1510	116	-170	-5	28900	25	+850
		1610	133	-270	+12	72900	144	-3240
		$\bar{X} = 1780$	$\bar{Y} = 121$	$\sigma_x = 218$		$\sigma_y = 7,5$		$\Sigma = -6340$

Коэффициент корреляции между PWC_{170} и результатом в гонке на 500 м, измеренными в конце подготовительного периода (в июне), оказался равным — 0,55. Для того, чтобы убедиться в этом, обратимся к таблице 5 и подставим ее итоговые цифры в формулу коэффициента корреляции:

$$r_{tk} = \frac{\Sigma (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{n\sigma_x\sigma_y} = \frac{-6340}{7 \cdot 218 \cdot 6,5} = -0,55$$

Итак, (см. табл. 6) расчет как будто бы показывает, что тест PWC_{170} не обладает информативностью, достаточной для предсказания результата в гребле на байдарке на дистанции 500 м. Прокоррелировав те же величины с результатами гребцов на дистанции 1000 м, найдем еще более низкий коэффициент информативности: — 0,52.

Возникает вопрос: означают ли приведенные данные, что тест не пригоден в практике подготовки гребцов на байдарке? Не будем торопиться с выводами: проверка тестов — дело, требующее большой осторожности и терпения. Прежде всего продолжим исследование и попытаемся так видоизменить изучаемый тест, чтобы его информативность повысилась. Один из резервов информативности заключается в том, что мерой физической работоспособности считают величину PWC_{170} , отнесенную к весу спортсмена. Проведя расчет коэффициентов корреляции, легко увидеть, что информативность «относительного PWC_{170} » несколько выше информативности PWC_{170} и составляет при прогнозировании результата в гонке на 500 м — 0,58, а в гонке на 1000 м — 0,60.

Но и эти данные не дают ответа на поставленный вопрос по двум причинам. Во-первых, найденные значения коэффициентов корреляции статистически недостоверны* и, следовательно, необходимо увеличить число участвующих в исследовании спортсменов. А во-вторых, значение найденного экспериментально коэффициента информативности теста должно быть скорректировано с учетом данных о надежности теста и надежности критерия.

Но тренера интересует в первую очередь специальная работоспособность спортсмена, т. е. работоспособность, которую спортсмен демонстрирует в естественных условиях тренировок и соревнований. Создание информативных тестов специальной работоспособности в значительной мере зависит от успехов в конструировании измерительной аппаратуры и, в частности, от успехов в измерении выполненной спортсменом ме-

* Граничное (т. е. минимальное достоверное) значение коэффициента корреляции при 7 измерениях и уровне значимости (% риска) $p = 0,05$ составляет 0,75 (см. Приложение).

ханической работы. В некоторых видах спорта (гребля, велоспорт) эта задача успешно решается. В результате создаются новые информативные тесты, об одном из которых мы сейчас расскажем.

По мысли Г. М. Ефремова, специальную работоспособность гребца можно оценить объемом работы, выполненной в течение времени от начала работы до того момента, когда частота пульса достигнет 170 уд/мин. Чем больше выполненная работа, тем выше специальная работоспособность. Оценка специальной работоспособности становится еще более точной, если найденный указанным образом объем работы отнести к массе тела спортсмена. Единицами измерения нового показателя специальной подготовленности гребца в этом случае, очевидно, явится $\frac{н \cdot м}{кг}$ (см. табл. 4, крайнюю строку справа). Коэффициент информативности нового теста оценивался по величине коэффициента корреляции между относительным объемом работы и техническим результатом на дистанциях 500 м и 1000 м и в обоих случаях оказался статистически достоверен и равен — 0,8 ($p < 0,05$). Принятые на сегодняшний день нормы (табл. 6) позволяют считать такую информативность хорошей.

Таблица 6

Оценка информативности теста по величине коэффициента информативности (по Л. III—40, 41, 42).

величина коэффициента информативности	0,99— 0,85	0,80— 0,84	0,70— 0,79	0,60— 0,69	ниже 0,60
оценка информативности теста	отлично	хорошо	удов- летво- рительно	сомни- тельно	плохо

Примечание: рекомендуемые здесь оценки справедливы при условии, что тест и критерий связаны между собой линейно и имеют нормальные законы распределения вероятностей. Если это условие не соблюдается, то интерпретация коэффициентов корреляции между тестом и критерием может быть иной (Л. II—13).

Одной из интересных задач прикладной тестологии является разработка информативных тестов технической подготовленности спортсменов. При решении этой задачи также не обойтись без измерительной техники. Приведем только два примера.

Первый пример — из академической гребли, где группой специалистов* созданы лодка — лаборатория (рис. 43) и аппаратура для измерения важнейших показателей гребца в бассейне. Располагая измерителями скорости лодки, выполняемой гребцом работы, развиваемой мощности и частоты пульса, можно предложить ряд информативных тестов технической подготовленности гребца-академиста. Один из них состоит в измерении развиваемой гребцом мощности при строго определенной скорости лодки и частоте пульса: чем меньше внешние энерготраты гребца при той же скорости лодки и пульсовой стоимости работы, тем, очевидно, эффективнее техника гребли. Информативность такого теста в настоящее время исследуется.

Второй пример — из художественной гимнастики, где информативные тесты технической подготовленности могли бы не только облегчить труд спортсменки и ее тренера, но и повысить объективность судейства. Но возникает вопрос: можно ли количественно оценить красоту, выразительность движений? Ответ на этот вопрос сегодня пытаются найти специалисты по квалитметрии (Л. III—2) — новой, тесно связанной с тестологией отраслью математической статистики.

Автор исследований — Т. П. Лазаренко поставила целью отыскать биомеханические корреляты качества исполнения прыжков в художественной гимнастике. 22 спортсменки многократно выполняли прыжки «в кольцо» и «в шпагат». Судейская бригада оценивала качество прыжка, а приборы (динамографическая платформа, кинокамера, измерители перемещений в суставах) измеряли кинематические и динамические характеристики прыжка (рис. 23). По окончании исследования были вычислены коэффициенты корреляции между судейской оценкой и биомеханическими характеристиками прыжка. В результате было выявлено несколько высокоинформативных показателей качества исполнения прыжка «в шпагат»: максимальное значение силы отталкивания (коэффициент информативности 0,49), длительность фазы полета (коэффициент информативности 0,70), ритм прыжка — отношение длительности фазы опоры к длительности фазы полета (коэффициент информативности — 0,78).

Информативность тех же показателей при оценке качества исполнения прыжка «в кольцо» значительно ниже. Так, коэффициент корреляции между длительностью фазы полета и судейской оценкой оказался равным 0,21. Очевидно, при квалитметрическом анализе прыжка «в кольцо» нужно искать какие-то другие информативные показатели качества, отличные

* Авторское свидетельство № 574641 с приоритетом от 3 мая 1976 г. и Л. VIII—29, 30.

от тех, которые хорошо зарекомендовали себя при анализе прыжка «в шпагат». Хороший результат в данном и подобном ему случаях мог бы принести «тест — батарея» — комплексный тест, составленный из нескольких измерительных процедур. Каждый из частных тестов входит в комплексный тест со своим весовым коэффициентом, который должен быть подобран так, чтобы максимизировать коэффициент информативности комплексного теста.

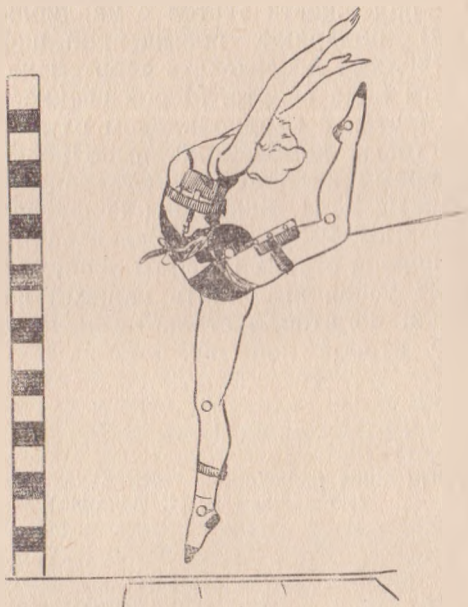


Рис. 23. Исследование информативности биомеханических тестов качества исполнения прыжков в художественной гимнастике; спортсменка с датчиками выполняет прыжок «в кольцо» на тензо-динамографической платформе (по данным Т. П. Лазаренко).

Вычисляемая из экспериментальных данных величина коэффициента информативности теста в ряде случаев не вполне точно отражает прогностическую ценность теста. Основной причиной отличия получаемой в эксперименте информативности от истинной информативности является ограниченная «надежность теста» и ограниченная «надежность критерия».

Надежность теста (корреляционные методы)

Надежностью теста называют степень совпадения результатов многократного тестирования одних и тех же объектов. Наряду с информативностью, надежность служит важнейшим

показателем качества теста. Как и при анализе информативности, роль коэффициента надежности исполняет коэффициент корреляции. Но в данном случае коэффициент корреляции рассчитывается между двумя рядами результатов, полученных при тестировании одной и той же группы спортсменов.

Для того, чтобы сделать рассказ о надежности тестов более конкретным, обратимся к выполненному В. И. Бондиным исследованию надежности тестов с кардиолидером. Тесты с кардиолидером обладают повышенной информативностью, поскольку позволяют исследовать спортсмена в реальных условиях каждого вида спорта. Мерой специальной работоспособности при тестах с кардиолидером служит объем работы или число тестовых комбинаций, выполненных спортсменом за заданное время на заданном пульсовом режиме.

Исследованные В. И. Бондиным 11 футболистов выполняли задание дважды. Результаты исследования сведены в таблицу № 7. В первой строке таблицы — число тестовых комбинаций, которые успел выполнить каждый из спортсменов в первой попытке; во второй строке — число комбинаций, выполненных во второй попытке.

Таблица 7

Исследование надежности теста с кардиолидером
(по данным В. И. Бондина)

	Число тестовых комбинаций, выполненных футболистами за 5 минут при частоте пульса в пределах от 150 до 180 уд/мин.										
первая попытка	6,0	7,6	6,5	6,6	5,5	7,6	5,7	5,6	5,6	5,2	7,0
вторая попытка	6,2	7,6	6,8	6,7	5,7	7,6	5,6	5,8	5,5	5,0	6,8

Вычислив коэффициент корреляции между цифрами в верхней строке и цифрами в нижней строке, найдем коэффициент надежности теста, который в данном примере равен 0.89 ($p < 0,01$). Этот результат имеет важное практическое значение как для циклических, так и для ациклических (и в первую очередь игровых) видов спорта, где В. И. Бондин первым ввел кардиолидер в практику тестирования спортсменов.

Связь между значениями коэффициента надежности и оценкой надежности теста (по Л. III—40, 41, 42).

Величина коэффициента надежности	0,95— 0,99	0,90— 0,94	0,80— 0,89	0,70— 0,79	0,60— 0,69
оценка надежности теста	отлично	хорошо	удовлетворительно	сомнительно	плохо

Далеко не все тесты обладают такой надежностью, как тесты с кардиолидером. Поэтому возникает вопрос: каким образом можно повысить надежность теста? Один из путей повышения надежности — создание гомогенных комплексных тестов, т. е. комплексных тестов, состоящих из нескольких одинаковых простых тестов. Дело в том, что тест, состоящий из нескольких одинаковых тестовых процедур, обладает большей надежностью, чем тест, состоящий из одной тестовой процедуры. Приведенная ниже простая формула помогает определить, во сколько раз нужно увеличить число попыток в тесте для того, чтобы коэффициент надежности достиг интересующей нас величины $\gamma_{tt}^0:m = \frac{\gamma_{tt}^0(1-\gamma_{tt})}{\gamma_{tt}(1-\gamma_{tt}^0)}$. Для примера

предположим, что найденный выше коэффициент надежности теста с кардиолидером $\gamma_{tt}=0,88$ нас не устраивает, и мы хотим узнать, как нужно видоизменить тест, чтобы его коэффициент надежности достиг величины $\gamma_{tt}^0=0,95$. Воспользовавшись формулой, получим:

$$m = \frac{0,95(1-0,88)}{0,88(1-0,95)} = 2,59$$

«Округляем» полученный результат $m=2,59$ до $m=3,0$. Следовательно, каждый тест должен состоять не менее, чем из трех одинаковых тестовых процедур, и повышение надежности теста в данном случае достигается ценой трехкратного усложнения процедуры тестирования.

Рассмотренный выше способ проверки надежности теста предполагает не менее чем двукратное проведение тестовой процедуры. Но в ряде случаев повторное исследование одних и тех же спортсменов в тех же самых условиях осуществить трудно. В этих случаях рассмотренный выше метод «повторного тестирования» («тест — ретест метод») уступает место «методу расщепления» («методу удвоения») — Л. III—25, 35. При использовании метода удвоения результаты всех изме-

первой случайным образом разбиваются на две группы. Коэффициентом надежности в этом случае служит $r_{tt} = \frac{2r_{12}}{1 + r_{12}}$, где r_{12} — коэффициент корреляции между цифрами первой группы и цифрами второй группы.

Объективность теста

Объективность теста — частный случай надежности. Объективность характеризует степень независимости результатов тестирования от особенностей человека, осуществляющего тестирование. Объективность теста проверяется в три этапа. Одну и ту же группу спортсменов тестирует дважды один и тот же тренер (исследователь) и затем один раз — другой тренер (исследователь). Затем вычисляют r_{11} — коэффициент корреляции между тестом и повторным тестом, проведенным тем же исследователем, и $r_{1,11}$ — коэффициент корреляции между тестом и повторным тестом, проведенными двумя разными исследователями. Найденные величины коэффициентов корреляции подставляют в формулу коэффициента объективности теста

$$r_{об} = 1 - \frac{r_{11} - r_{1,11}}{r_{11}}$$

Например, если $r_{11} = 0,9$, а $r_{1,11} = 0,8$, то коэффициент объективности:

$$r_{об} = 1 - \frac{0,9 - 0,8}{0,9} = 0,89$$

Другой способ проверить объективность теста состоит в вычислении коэффициента конкордации (III—2).

При интерпретации коэффициента объективности пользуются теми же нормативами, что и при оценке коэффициента надежности (см. табл. 8).

Надежность тестов (дисперсионные методы)

Корреляционные методы проверки надежности тестов пригодны лишь для той ситуации, когда каждый испытуемый тестируется дважды. В более сложных случаях используются дисперсионные методы. Рассмотрим их на примере работы А. Ю. Гурьева, который исследовал надежность новых тестов специальной физической подготовленности лыжников-гонщиков. Процедура тестирования состояла в измерении скорости прохождения заданного отрезка дистанции при строго определенной частоте сердечных сокраще-

ий, которая программировалась при помощи кардиолидера. Семь лыжников, предварительно обученных работе с кардиолидером, в первой попытке показали результаты, представленные на рис. 24 А. Результаты второй попытки представлены на рис. 24 Б, а третьей — на рис. 24 В. Соединив точки

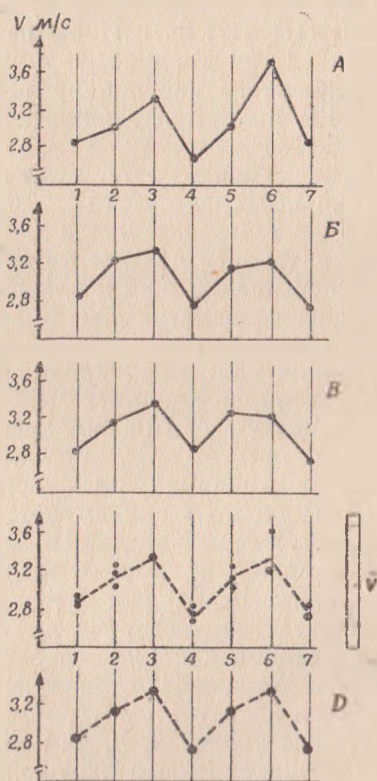


Рис. 24. К пояснению дисперсионного метода оценки надежности теста: по горизонтали — номер лыжника, по вертикали — скорость лыжника при ЧСС=170 уд/мин.

А — первая попытка; Б — вторая попытка; В — третья попытка; пунктир соединяет средние результаты каждого спортсмена, значения скорости вычислены по данным табл. 9 А.

на каждом из этих рисунков прямыми линиями, получим графики изменения результата тестирования «от индивидуума к индивидууму». При взгляде на графики без всяких вычислений ясно, что их формы сходны и, следовательно, надежность теста высока. Но на вопрос «насколько она высока?» может дать ответ только расчет коэффициента корреляции между

А, Б и В. Однако какой из коэффициентов корреляции считать коэффициентом надежности: r_{AB} , r_{BC} или r_{AC} ? И нельзя ли найти единый показатель, определяющий степень взаимосвязи между тремя (или четырьмя, пятью и т. д.) рядами чисел?

Решить этот вопрос позволяет дисперсионный анализ — статистический метод, разработанный видным английским математиком Р. Фишером (III—17, 20). Чтобы пояснить его идею, объединим рисунки 24 А, 24 Б и 24 В в один (рис. 24 Г) и спроецируем все точки этого рисунка на вертикальную ось. Как видно из рис. 24 Г, полученные в процессе тестирования результаты существенно отличаются друг от друга, или, говоря языком статистики, «варьируют». Если бы вариация отсутствовала, проекции всех результатов тестирования пришлось бы в одну и ту же точку вертикальной оси. Степень вариативности всей совокупности данных можно определить по величине «общей дисперсии» ($D_{\text{общ.}}$), для подсчета которой:

1) вычислим среднее арифметическое значение всей совокупности полученных данных;

2) найдем отклонения каждой точки от среднего арифметического и возведем их в квадрат;

3) подсчитаем «общую» сумму квадратов отклонений ($Q_{\text{общ.}}$) и разделим ее на число степеней свободы.

От чего же зависит общая вариативность или, другими словами, из каких компонентов складывается общая сумма квадратов отклонений? Первый компонент — различия между индивидуумами (в нашем примере — между лыжниками), или «межиндивидуальные различия». Второй компонент — различия между результатами тестирования одного и того же индивидуума («внутрииндивидуальные различия»), которые в свою очередь зависят от колебаний состояния испытуемых, погрешностей измерения и других факторов, снижающих точность тестирования. Чем точнее тест, тем меньше величина второго компонента по сравнению с первым. И в идеальном случае, когда второй компонент общей вариации равен нулю, рис. 28 Г должен выглядеть так, как показано на рис. 28 Д. Этот случай соответствует самой высокой надежности теста.

Переведем сказанное на язык арифметики, воспользовавшись известным из статистики (см., например, Л. II—13) положением, согласно которому

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{и}} + Q_{\text{вн}},$$

где $Q_{\text{и}}$ — сумма квадратов отклонений, возникших в результате межиндивидуальной, или «истинной» вариативности;

$Q_{\text{вн}}$ — сумма квадратов отклонений, возникших в результате внутрииндивидуальной, или «ошибочной» вариативности.

Надежность теста тем выше, чем больше межиндивидуальная вариация и чем меньше внутрииндивидуальная вариация:

$$\frac{Q_M}{Q_{\text{общ}}} = \frac{Q_{\text{общ}} - Q_{\text{вн}}}{Q_{\text{общ}}} = 1 - \frac{Q_{\text{вн}}}{Q_{\text{общ}}}$$

Если бы число испытуемых (n) и число попыток (k) было бесконечно велико, то приведенную выше формулу можно было бы использовать в качестве коэффициента надежности теста*. Но число измерений конечно, и поэтому до расчета коэффициента надежности необходимо разделить каждую из сумм квадратов отклонений на соответствующее «число степеней свободы». Число степеней свободы определяется разностью между числом наблюдений и количеством условий, ограничивающих свободу варьирования, и равно: $pk-1$ — для $Q_{\text{общ}}$, $k(p-1)$ — для Q_M и $p(k-1)$ — для $Q_{\text{вн}}$. Полученные в результате деления величины $\sigma^2_{\text{общ}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{pk-1}$,

$$\sigma^2_M = \frac{Q_M}{k(p-1)} \text{ и } \sigma^2_{\text{вн}} = \frac{Q_{\text{вн}}}{p(k-1)}$$

называть общей дисперсией, межиндивидуальной дисперсией и внутрииндивидуальной дисперсией**.

Предложено несколько способов вычисления коэффициента надежности теста по данным дисперсионного анализа. Наибольшее распространение получил коэффициент надежности, равный «внутриклассовому коэффициенту корреляции» (см. стр. 91, а также III—17, 24, 36).

* Величина $\eta = \frac{Q_M}{Q_{\text{общ}}} = 1 - \frac{Q_{\text{вн}}}{Q_{\text{общ}}}$ называется нелинейным коэффициентом корреляции, или «корреляционным отношением» и используется в математической статистике для количественной оценки степени связи между переменными, если эта связь нелинейна. При этом $\frac{Q_M}{Q_{\text{общ}}}$ интерпретируется как «доля влияния учтенных факторов», а $\frac{Q_{\text{вн}}}{Q_{\text{общ}}}$ — как доля

влияния случайных факторов в общей вариации. Именно так решается вопрос об оценке точности измерений, например, в радиотехнике и радиолокации, где многократные измерения организовать легко и качество измерительной аппаратуры оценивается по величине отношения

$$\frac{\text{полезный сигнал}}{\text{полезный сигнал} + \text{помеха}} = 1 - \frac{\text{помеха}}{\text{полезный сигнал} + \text{помеха}}$$

** Понятие о степенях свободы и их роли в дисперсионном анализе очень доходчиво дано в книге Е. К. Меркурьевой «Основы биометрии», изд-во МГУ, 1963, с. 151. Этот вопрос весьма важен, т. к. его полужизание, весьма распространенное на сегодняшний день, приводит к ошибкам. Вместе с тем, в литературе имеет место терминологическая путаница: одним и тем же термином «дисперсия» часто обозначают и величины Q , и величины $D = \sigma^2$ (см., например, Е. К. Меркурьева, с. 152). Отметим, что при конечном числе измерений равенство $Q_{\text{общ}} = Q_M + Q_{\text{вн}}$ не сохраняется при делении его членов на число степеней свободы, и $\sigma^2_{\text{общ}} \neq \sigma^2_M + \sigma^2_{\text{вн}}$

Дисперсионный анализ результатов тестирования лыжников-гонщиков
(по данным А. Ю. Гурьева)

№ попытки (j)	№ спортсмена (i)							$\sum_{i=1}^n X_{ij}$	$\left(\sum_{i=1}^n X_{ij}\right)^2$
	1	2	3	4	5	6	n=7		
1	88 7744	82 6724	75 5625	93 8649	81 6561	68 4624	89 7921	576	331776
2	89 7921	77 5929	75 5625	90 8100	79 6241	78 6084	91 8281	579	335241
к=3	88 7744	79 6241	75 5625	89 7921	77 5929	78 6084	91 8281	577	332929
$\sum_{j=1}^k X_{ij}$	265	238	225	272	237	224	271	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} =$ =1732	$\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n X_{ij}\right)^2 =$ =999946
$\left(\sum_{j=1}^k X_{ij}\right)^2$	70225	56644	50625	73984	56169	50176	73441	$\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k X_{ij}\right)^2 =$ =431264	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 =$ =143854

Примечания: 1. В таблице 9А приняты следующие обозначения:
i — порядковый номер спортсмена; *j* — номер попытки; *n* — число спортсменов; *k* — число попыток; *X* — результат тестирования (в данном примере — время (с) прохождения лыжником 250 м отрезка дистанции

при частоте сердечных сокращений 170 уд./мин.; $\sum_{i=1}^n X_{ij}$ — суммы резуль-

татов по строкам, $\sum_{j=1}^k X_{ij}$ — суммы результатов по столбцам; $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}$

сумма всех результатов, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2$ — сумма квадратов всех результатов.

2. Две цифры в одной ячейке таблицы — результат тестирования и квадрат результата.

3. Обведенная жирной линией часть таблицы заполняется только при 2-х факторном анализе.

Теперь, когда принципиальная сторона дела более или менее прояснилась, займемся техникой дисперсионного анализа. Расчеты значительно упрощаются, если исходные данные и результаты вычислений заносить в определенным образом составленную таблицу (табл. 9А).

Таблицей 9А можно пользоваться формально. Но лучше вести расчеты осмысленно, и сейчас будет показано, почему таблица позволяет вычислить величины общей вариации и всех ее компонентов. Прежде всего вспомним известную из математической статистики упрощенную формулу для вычисления суммы квадратов отклонений:

$$\sum_1^m (X - \bar{X})^2 = \sum_1^m X^2 - \frac{\left(\sum_1^m X \right)^2}{m},$$

вывод которой можно найти, например, в Л. II—13, с. 78. Воспользуемся этой формулой для расчетов:

$$1) Q_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2}{nk} = 143854 - \frac{(1732)^2}{7 \cdot 3} = 143854 - 142849 = 1005$$

(см. табл. 9А)

2) Межиндивидуальная вариация зависит от того, насколько сильно различаются между собой средние результаты спортсменов. Учтя, что каждый спортсмен делает *k* попыток, можно записать:

$$Q_m = k \sum_{i=1}^n (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2 = k \sum_{i=1}^n \bar{X}_{ij}^2 - k \frac{\left(\sum_{i=1}^n \bar{X}_{ij} \right)^2}{n}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{поскольку} \\ \bar{X}_j = \frac{\sum_{j=1}^k X_j}{k}, \text{ а } \bar{X}_j^2 = \frac{\left(\sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2}{k^2} \end{array} \right) = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2}{k} - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2}{k \cdot n} = \frac{431264}{3} - \frac{(1732)^2}{7 \cdot 3} = 143754 - 142849 = 905$$

3) Внутрииндивидуальная вариация определяется нестабильностью результатов каждого из спортсменов, а конкретно — тем, насколько отличаются отдельные результаты каждого спортсмена от его среднего результата $\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2 =$

$$Q_{\text{вн}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k X_{ij} \right)^2}{k} = 143854 - \frac{431264}{3} = 143854 - 143754 = 100$$

Рассмотренный вариант дисперсионного анализа называют однофакторным, поскольку он позволяет оценить вклад лишь одного фактора (различий между спортсменами) в общую вариативность результатов тестирования. Более полную информацию можно получить, если разложить внутрииндивидуальную вариацию $Q_{\text{вн}}$ на ее компоненты — например, на вариацию между попытками ($Q_{\text{п}}$) и «остаточную» вариацию ($Q_{\text{ост}}$), олицетворяющую собой ошибки измерений. Причем $Q_{\text{вн}} = Q_{\text{п}} + Q_{\text{ост}}$ и, следовательно, $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{ост}}$. Такой вариант дисперсионного анализа называется двухфакторным.

4) Вариация между попытками определяется тем, насколько усредненные результаты всех испытуемых в первой попытке, во второй попытке и т. д. отличаются от среднего значения всех показанных результатов. По аналогии со 2)

$$Q_{\text{п}} = n \sum_{j=1}^k (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right)^2}{n} - \frac{\left(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n X_{ij} \right)^2}{n \cdot k} = \frac{999946}{7} - \frac{(1732)^2}{21} = 142850 - 142849 = 1$$

$$5 \text{ И, наконец, } Q_{\text{ост}} = Q_{\text{общ}} - Q_{\text{м}} - Q_{\text{п}} = 1005 - 905 - 1 = 99$$

Сведем полученные результаты в таблицу 9Б, включив в нее данные о степенях свободы и дисперсиях. Таблица 9Б содержит все необходимое для оценки надежности теста. Но, прежде чем вычислять коэффициент надежности, необходимо

Итоги дисперсионного анализа результатов тестирования
лыжников-гонщиков

вид вариации	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия	Отношение дисперсий (F)	Граничное значение при уровне значимости p (Л. 1—8, с. 391—393)	
					p = 5%	p = 1%
общая	1005	пк—1 = = 20	$\sigma^2_{\text{общ}} =$ = 50,2			
межиндивидуальная	905	п—1 = 6	$\sigma^2_{\text{м}} =$ = 150,8	$\frac{\sigma^2_{\text{м}}}{\sigma^2_{\text{общ}}} =$ = 3,00	2,60	3,87
внутрииндивидуальная	100	п(к—1) = = 14	$\sigma^2_{\text{вн}} =$ = 7,1			
между попытками	1	к—1 = 2	$\sigma_{\text{п}}^2 = 0,5$	$\frac{\sigma_{\text{п}}^2}{\sigma^2_{\text{общ}}}$		
остаточная	99	(п—1) · · (к—1) = = 12	$\sigma^2_{\text{ост}} =$ = 8,3	$\frac{\sigma^2_{\text{ост}}}{\sigma^2_{\text{общ}}} =$ = 0,06		

убедиться в том, что изменение результата тестирования от попытки к попытке статистически незначимо, или, говоря языком тестологии, «тренд» отсутствует. В данном примере это условие выполняется, поскольку отношение $\frac{\sigma^2_{\text{п}}}{\sigma^2_{\text{общ}}} = 0,06$ мень-

ше граничного значения отношения дисперсий. Этот вывод свидетельствует о том, что вариация результата от попытки к попытке носит случайный характер и может быть объединена с остаточной (ошибочной) вариацией. Поэтому в дальнейшем две нижние строки таблицы нами использоваться не будут (вспомним, что $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{вн}}$).

Коэффициент надежности подсчитаем по формуле для внутриклассового коэффициента корреляции:

$$r'_{\text{н}} = \frac{\sigma^2_{\text{м}} - \sigma^2_{\text{ост}}}{\sigma^2_{\text{м}}} = \frac{150,8 - 7,1}{150,8} = 0,95$$

Итак, надежность теста оказалась отличной. Если же необходимо повысить надежность, то самый простой способ достичь этого — повторить процедуру тестирования несколько раз, а результатом тестирования считать среднее значение полученных при измерении чисел.

Откроем секрет: именно так был сконструирован тест, надежность которого только что найдена; каждое из значений

X в таблице 9А есть среднее арифметическое четырех ($h=4$) результатов лыжника на дистанции 250 м.

Немного изменив приведенную выше формулу, можно предсказать надежность теста, состоящего из h' одинаковых процедур, если известна надежность теста, состоящего из h' процедур:

$$r'_{tt} = \frac{\sigma^2_M - \sigma^2_{ВН}}{\sigma^2_M + \left(\frac{h}{h'} - 1\right) \sigma^2_{ВН}}$$

Например, надежность рассмотренного теста с кардиолитером для лыжников-гонщиков при однократном измерении скорости ($h'=1$) уже не отличная, а только удовлетворительная:

$$r'_{tt} = \frac{150,8 - 7,1}{150,8 + \left(\frac{4}{1} - 1\right) 7,1} = 0,83$$

Рассмотренные нами основы теории тестов и примеры из спортивной практики, безусловно, не исчерпывают всей проблематики спортивной тестологии. Проблемы тестирования спортсменов поистине необозримы и крайне важны для спорта и для массовой и лечебной физкультуры. Решать их необходимо не обособленно, а в комплексе с другими проблемами педагогического и медицинского контроля, учитывая, что:

КОНТРОЛЬ = ИЗМЕРЕНИЕ + ТЕСТИРОВАНИЕ + ОЦЕНКА.

Оценка результатов измерения и тестирования в баллах или очках необходима потому, что один и тот же результат должен интерпретироваться по-разному в зависимости от индивидуальных особенностей спортсмена (пол, возраст, состояние здоровья, спортивная специализация и квалификация и т. д.) и от условий проведения исследований. Основы теории оценок изложены в Л. I—7, III—35.

II. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Точность измерительной аппаратуры сказывается на точности дозирования входных переменных (и в первую очередь — физической нагрузки), на точности измерения выходных переменных и на точности вычислительной обработки входных и выходных переменных (рис. 22). Датчики информации о спортсмене, телеметрическая, регистрирующая и вычислительная аппаратура для спортивных измерений рассматриваются в следующих главах книги. Настоящий раздел содер-

жит краткий обзор способов дозирования физической нагрузки при исследовании спортсменов.

Способы дозирования физической нагрузки могут быть разделены на биомеханически-адекватные («специфические») и биомеханически-неадекватные («неспецифические»). При биомеханически-адекватном способе спортсмен выполняет те же движения, что и во время тренировок и соревнований.

Биомеханически-неадекватные способы дозирования нагрузки

Используются при исследовании спортсменов в лаборатории. До недавнего времени ступенька и велоэргометр были единственными приспособлениями для количественного дозирования нагрузки. Поднимаясь на ступеньку высотой h (м), человек, весящий P кг, выполняет работу $A = P \cdot h$ (кГм). Сложнее оценить «отрицательную» работу, которую человек совершает спускаясь со ступеньки. Прямо рассчитать эту работу невозможно, а косвенные методы неточны. Разные авторы рекомендуют считать «отрицательную» работу равной 10—90% «положительной». По этой причине ступенькой не пользуются как средством точного измерения выполненной спортсменом работы, а предпочитают рассчитывать «индекс Гарвардского степ-теста» (Л. III—4, 39). Но и индекс Гарвардского степ-теста не пригоден для точных измерений. Так, Novosad., 1971 (цит. по III—35) проверил информативность степ-теста на 34-х лыжниках и получил коэффициент информативности

$$r_{\text{тк}} = 0,51 \pm 0,13$$

Более точное дозирование нагрузки обеспечивают велоэргометры, тредбаны и другие тренажеры с обратной связью.

Биомеханически-адекватные способы дозирования нагрузки

Могут применяться как в лабораторных условиях, так и в естественных условиях тренировки. Сегодня эта задача решена лишь в тяжелой атлетике, где работа по подъему штанги приблизительно равна произведению веса штанги на высоту подъема (Л. VIII—6, 15), и в академической гребле (Л. VIII—29). В обоих случаях в основе метода измерения выполненной спортсменом работы (A) лежит известное из механики соотношение: $A = F \cdot S$, где F — прикладываемая к спортивному снаряду сила, а S — его перемещение.

В работе Л. III—3 предложен универсальный способ измерения выполняемой работы и развиваемой мощности при произвольных движениях человека. Идея способа состоит в измерении масс (m) и ускорений (a) частей тела с последующим решением «обратной задачи динамики». При этом усилия вычисляются по формулам, аналогичным формуле II зако-

на Ньютона: $F = ma$, а развиваемые мощности — по формуле $N = F \cdot V$, где V — скорость перемещения изучаемого сегмента тела. Блестящий по идее и весьма перспективный, этот способ требует сверхточной аппаратуры для измерения кинематических характеристик движения, характеристик тела спортсмена и вычислительной аппаратуры для решения сложных систем математических уравнений.

Ближе к практике биомеханически-адекватные способы дозирования нагрузки, основанные на измерении физиологических реакций организма на нагрузку. Например, мощность, развиваемую спортсменом на дистанции, косвенно измеряют путем подбора такой мощности педалирования на велоэргометре, при которой достигается та же тахикардия, что и на дистанции (Л. III—14). По-видимому, более точно такие измерения можно выполнить с помощью кардиолидера (см. гл. VIII).

Точность измерений и условия проведения исследований

Организм спортсмена чутко реагирует на многие факторы — эмоциональный, климатический (температура, давление, влажность воздуха), гравитационный и т. д. Поэтому измерения должны проводиться в стандартных условиях. Если приходится проводить измерения в нестандартных условиях, то необходимо измерять и переменные, характеризующие окружающую среду и, в случае их изменения, вносить поправку в результат измерения изучаемых переменных. Именно такая методика принята в физиологии при измерении показателей внешнего дыхания (Л. I—1, III—39).

*
*
*

Подводя итоги всему сказанному, перечислим основные резервы повышения точности спортивных измерений:

1. повышение информативности тестов:
 - а) переход к биомеханически-адекватным способам дозирования нагрузок;
 - б) отыскание таких переменных и их комбинаций, которые более тесно коррелируют с избранным критерием информативности;
2. повышение надежности и объективности тестов:
 - а) стандартизация условий тестирования;
 - б) конструирование комплексных тестов;
3. повышение точности измерительной аппаратуры;
4. совершенствование системы оценки результатов измерений;
5. математико-статистический анализ результатов измерений как рассмотренными методами, так и теми полезными методами, которые из-за ограниченного объема книги нашли отражение лишь в библиографии — например, факторный анализ (Л. II—54), линейное программирование (Л. II—58),

дискриминантный анализ (Л. III—38), оптимальное планирование эксперимента (Л. II—35, 38, III—1).

На этом мы заканчиваем первую часть книги, где были рассмотрены основы метрологии, принципы спортивных измерений и некоторые пути повышения точности измерений. Реализовать достижения теории спортивных измерений на практике можно с помощью измерительных приборов, которым посвящена вторая часть книги.

ЧАСТЬ II. ТЕХНИКА СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

«От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины, познания объективной реальности».

В. И. Ленин

Ленинская формула «от живого созерцания — к абстрактному мышлению и от него — к практике» приобретает в наши дни новый смысл. Сегодня процесс «живого созерцания»,

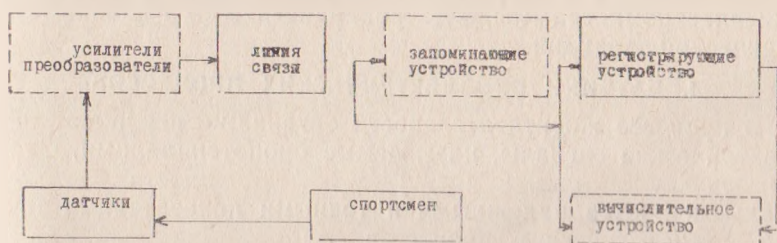


Рис. 25. Состав системы для измерения переменных, характеризующих состояние спортсмена; сплошная линия — обязательные элементы системы, пунктир — элементы, включаемые в состав системы по мере надобности.

наблюдения за объектом исследования все чаще бывает связан с использованием измерительной аппаратуры.

Все измерительные системы в спорте включают в себя: датчики информации, линию связи и регистрирующее устройство (рис. 25). Кроме того, в состав измерительной системы могут входить усилители биоэлектрических сигналов и преобразователи измеряемых биомеханических величин в электрический ток или напряжение. В последние годы все чаще используют запоминающие и вычислительные устройства, значительно расширяющие возможности тренеров и спортсменов. Для повышения точности спортивных измерений привлекаются все новинки инженерной мысли: радио-телеметрия, лазеры, радиоизотопы, инфракрасная техника, ультразвук,

цифровые и аналоговые вычислительные машины, телевидение, видеомагнитофоны и десятки новых технических решений.

Глава IV. ДАТЧИКИ ИНФОРМАЦИИ О СПОРТСМЕНЕ

Особой изобретательности требует конструирование датчиков — первого звена измерительной системы. Датчик соприкасается с телом спортсмена и непосредственно воспринимает изменения измеряемого показателя. Чаще всего датчики закрепляются на теле спортсмена и в связи с этим к ним предъявляются жесткие конструктивные требования. Датчик должен иметь минимальный вес и габариты, высокую механическую прочность, удобство крепления и вместе с тем не должен стеснять движений спортсмена и создавать какой-либо дискомфорт. От конструкции датчиков в первую очередь зависит помехоустойчивость измерительной системы и, следовательно, ее точность.

Из всего многообразия датчиков мы рассмотрим только те, которые предназначены для измерения важнейших биомеханических характеристик: силы, ускорения, скорости, перемещения, массы и для регистрации биоэлектрических процессов: электромиограммы, электрокардиограммы и кожно-гальванической реакции.

I. ДАТЧИКИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В процессе жизнедеятельности организма возникают биоэлектрические сигналы, называемые биопотенциалами. Отражая физико-химические следствия обмена веществ, биопотенциалы являются надежными и точными показателями течения физиологических процессов.

Биопотенциалы представляют собой сложные колебания несимметричной формы. Их частотный спектр и амплитуда зависят от источника биопотенциалов. В спорте наибольшее распространение получили: электрокардиография (запись биопотенциалов сердца), электромиография (запись биопотенциалов скелетных мышц), измерение «кожно-гальванической реакции» — разности электрических потенциалов между двумя точками на поверхности тела.

Итак, органы человеческого тела способны создавать электрические поля. Внутренняя же среда человеческого организма, обладая сравнительно низким, порядка нескольких килоом электрическим сопротивлением, позволяет электрическим потенциалам почти беспрепятственно распространяться по телу. В результате биопотенциалы скелетных мышц и других внутренних органов (сердца, мышц, мозга и т. д.) могут быть зафиксированы на поверхности тела, для чего достаточно приложить к коже датчики биопотенциалов — «электроды», подключенные ко входу биоусилителя.

Межэлектродное сопротивление

К электродам в спорте наряду с требованиями малого веса, габаритов и удобства фиксации на теле пациента предъявляется требование низкого электрического сопротивления между электродами.

Снижение межэлектродного сопротивления необходимо как для увеличения амплитуды регистрируемых биопотенциалов, так и для повышения помехоустойчивости измерительной системы. При низком межэлектродном сопротивлении величина и форма электрокардиограммы не зависят от колебаний межэлектродного сопротивления при движениях спортсмена или при смещении электрода в случае удара по нему (как это часто бывает, например, в боксе).

Межэлектродное сопротивление складывается из незначительного сопротивления внутренней среды организма и суммы сопротивлений кожи в местах наложения электродов. В экспериментальной физиологии, при исследовании животных низкое межэлектродное сопротивление получается просто — электродами служат вводимые под кожу животного иглы либо вживляемые кусочки проволоки из платины, золота или другого не подверженного окислению металла. Делались попытки вживлять электрокардиографические электроды и человеку, но такой способ применяется лишь в тех случаях, когда от надежности регистрации электрокардиограммы зависит жизнь пациента — как это имеет место в системах электростимуляции сердца у больных людей.

В спорте снижение межэлектродного сопротивления обеспечивает специальная процедура, включающая в себя: очистку кожи в местах наложения электродов спиртом или смесью спирта с эфиром и втирание специальной электродной пасты, которая, кроме того, должна заполнять и внутреннюю полость электрода. Такая несложная процедура уменьшает толщину рогового слоя кожи, усиливает в ней кровообращение и благодаря этому снижает межэлектродное сопротивление до 10 ком, чего в большинстве случаев вполне достаточно для практических целей.

Часто по условиям проведения исследований (повышенный уровень промышленных помех, радиотелеметрическое исследование боксеров, борцов и т. д.) требуется еще более низкое межэлектродное сопротивление — до нескольких килоом. В этих случаях кожу под электродами до втирания в нее электродной пасты следует массировать пемзой до легкого покраснения.

Датчики электрокардиограммы

Электрокардиограммой называется кривая изменения электрических потенциалов, возникающих при возбуждении и сокращении сердечной мышцы. Первые работы по электрокардиографии относятся к середине XIX века. В спорте электрокардиография получила широкое распространение как диагностический метод, позволяющий оценить физическую подготовленность спортсмена и установить характер нарушений сердечной деятельности, если они имеют место. Популярность этого метода исследования год от года растет в связи с появлением надежной и помехоустойчивой регистрирующей аппаратуры и радиотелеметрических систем, позволяющих записывать электрокардиограмму в условиях тренировок и соревнований. (Л. IV—2, 11, 35).

Выбор отведения. Надежность регистрации электрокардиограммы во многом зависит от способа фиксации электродов на теле спортсмена и от используемой системы отведений, т. е. от того, в каких точках тела размещаются электроды. Принятые в медицине стандартные отведения электрокардиограммы с фиксацией электродов на конечностях применяются в спорте лишь в условиях мышечного покоя. При исследованиях, проводимых во время физической нагрузки, электроды размещают на грудной клетке спортсмена. Электрокардиограмма, регистрируемая с поверхности грудной клетки, имеет амплитуду до 1—3 мв и частотный состав от 0,1 до 100÷200 Гц.

При работе со спортсменами чаще всего используются отведения Nehv (1938), их модификация по Л. А. Бутченко (1963) и отведения MX и DS* (рис. 26). Nehv предложил

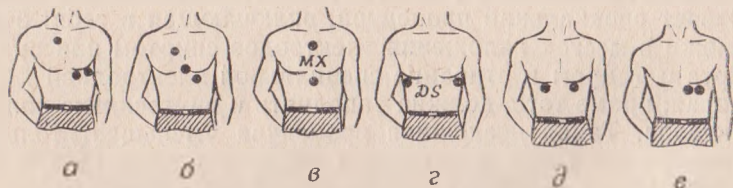


Рис. 26. Различные варианты электрокардиографических отведений (пояснения в тексте).

снимать электрокардиограмму в нагрузке тремя электродами, располагая их: первый — в области верхушки сердца, в пятом

* Названия отведений MX и DS связаны с точками размещения электродов: MX — manubrium-xiphoides (рукоятка грудины — мечевидный отросток), DS — dextra — sinistra (правая и левая точки в пятом межреберье по срединно-подмышечной линии).

межреберье по левой срединно-ключичной линии; второй — над точкой прикрепления второго ребра к правому краю грудины и третий — в месте проекции первого электрода на заднюю подмышечную линию (рис. 26 а).

Л. А. Бутченко предложил модифицировать отведения Неба, перенося второй электрод немного ниже — на место прикрепления третьего ребра к правому краю грудины, третий электрод — в четвертое межреберье у правого края грудины (рис. 26 б). Такая система отведений в ряде случаев обеспечивает более высокую амплитуду электрокардиограммы.

Отведения DS и MX пришли в спорт из космической медицины. При «вертикальном» отведении MX верхний электрод размещается над рукояткой грудины, а нижний — в области мечевидного отростка (рис. 26 в). При горизонтальном отведении DS оба электрода располагаются на боковых поверхностях грудной клетки в пятом межреберье по средним подмышечным линиям (рис. 26 г). Отведение DS удобно тем, что позволяет надежно зафиксировать электроды обычным резиновым бинтом или манжетой, не прибегая к специальному жилету или ляточной системе. Однако этому отведению присущ серьезный недостаток: электроды располагаются в непосредственной близости от мощных мышц спины, что при исследовании спортсменов часто приводит к высокому уровню миографических помех на электрокардиограмме.

Очень часто при практической работе требуется не вся информация о форме электрокардиограммы, а лишь информация о длительности сердечного цикла. С этой точки зрения заслуживают внимания еще две системы отведений, обеспечивающие компромисс между требованиями помехозащищенности, высокой амплитуды зубца R и удобства крепления электродов. В первой из них активные электроды размещаются в пятом межреберье по левой и правой срединно-ключичным линиям (рис. 26 д). Во второй оба активных электрода располагаются в непосредственной близости друг от друга, в прекордиальной области (рис. 26 е). Основное преимущество такого отведения, названного «локальным», состоит в сниженном до минимума уровне мышечных помех и высокой амплитуде зубца R по сравнению с другими зубцами электрокардиограммы.

Конструкция и способы фиксации электродов. Выбор отведения электрокардиограммы тесно связан с конструкцией электродов и способом их фиксации на теле спортсмена. Известные сегодня способы фиксации электрокардиографических (а в равной мере и электромиографических) электродов перечислены на рис. 27.

Универсальными в смысле выбора отведения являются наклеиваемые электроды. Они не требуют специального фиксирующего пояса или жилета, не стесняют движений спортсмена и могут быть закреплены практически в любой точке тела. В ряде случаев — например, при исследовании пловцов в воде такой способ фиксации электродов является единст-



Рис. 27. Способы фиксации электродов при регистрации биопотенциалов у спортсмена.

венно возможным. Вместе с тем, при длительном исследовании клей может вызывать раздражение кожи, а процедура отклеивания электродов может оказаться весьма болезненной. Электроды приклеиваются к коже коллодием, резиновым клеем, клеем типа 88 или спиртовым раствором каннфоли. Противопоказанием к применению наклеиваемых электродов служит интенсивный волосяной покров на груди спортсмена.

Разновидностью наклеиваемых электродов являются электроды одноразового пользования, удерживающиеся на коже благодаря клейким свойствам материала, из которого сделан электрод (например, электроды фирмы Hellige, ФРГ). В кустарных условиях такой электрод можно изготовить из плоского мозольного пластыря, клейкий слой которого отделяется от целлофановой подложки непосредственно перед наложением электрода. При интенсивной работе, связанной со значительным потоотделением, фиксация таких электродов может стать ненадежной.

Все рассмотренные электроды могут дополнительно фиксироваться на теле спортсмена как клеем, так и эластичными фиксирующими поясами различной конструкции.

Датчики электромиограммы

Электромиограммой называется кривая изменения электрического потенциала скелетных мышц. При изучении движений электромиография используется для определения сте-

пони участия различных мышц в двигательном действии, для изучения координации в работе мышц и для косвенной оценки уровня мышечного напряжения. Таким образом, электромиография позволяет исследовать внутреннюю структуру двигательного действия и тем самым помогает отыскать наиболее рациональный вариант техники спортивных движений (Л. IV—10, 28, 44).

Электромиография зародилась в конце прошлого века, когда в 1887 году Н. Е. Введенский осуществил «телефоническое прослушивание» потенциалов действия мышц человека. В 1907 году немецкий исследователь Рирег впервые зарегистрировал электромиограмму с помощью струнного гальванометра. В дальнейшем по мере совершенствования электронной техники росли возможности электромиографии, и в настоящее время электромиографические исследования играют важную роль как в биомеханике и физиологии спорта, так и в спортивной практике.

В электромиографии применяются два типа электродов: электроды с малой отводящей поверхностью («игольчатые»), которые позволяют регистрировать потенциалы действия одной или немногих близлежащих двигательных единиц, и «чашечные» электроды с большой отводящей поверхностью (около 20—50 мм²), с помощью которых регистрируется интерференционная («суммарная») электромиограмма. Чашечные электроды фиксируются на поверхности тела в области исследуемой мышцы. Регистрируемая с поверхности тела электромиограмма имеет амплитуду от единиц микровольт до нескольких десятков милливольт и частотный спектр от единиц до нескольких сот герц; в отдельных случаях спектр электромиограммы может иметь компоненты с частотами до 10 кГц. При исследовании спортсменов чаще всего используют кожные, чашечные электроды. Они представляют собой металлические чашечки из нержавеющей стали или серебра диаметром 7—15 мм. Два таких электрода монтируются на резиновую пластинку. Расстояние между электродами около 20 мм. Электроды накладываются на мышцу по ходу волокон там, где контурируется ее брюшко. Резиновая пластинка, на которой крепятся электроды, приклеивается к коже клеем и закрепляется сверху пластырем или резиновой манжетой.

По записям электромиограмм удастся выделить периоды электрической активности изучаемых мышц. В результате становится возможным объективный количественный анализ закономерностей межмышечной координации при выполнении спортивного движения.

Кожа представляет собой сложный покровный орган, состоящий из весьма разнородных тканей (эпителия, желез, соединительной ткани, сосудов, гладкомышечных элементов). Еще Du Bois Reymond (1848) обнаружил, что между двумя точками кожи имеется разность потенциалов. В опытах на животных было также показано, что наружная поверхность кожи имеет отрицательный потенциал, достигающий 50—100 мв. Источником этой электродвижущей силы одно время считали мышечные элементы. Однако в дальнейшем более широкое распространение получила секреторная теория, связывающая возникновение кожных потенциалов с деятельностью желез.

Большое внимание уделялось изучению так называемого «психогальванического рефлекса» у человека. В 1980 году И. С. Тарханов опубликовал сообщение о колебаниях потенциалов кожи при эмоциональном возбуждении человека. Такие колебания кожных потенциалов возникали с латентным периодом 1—2 сек. и могли длиться десятки секунд.

Регистрация кожно-гальванической реакции (КГР) является ценным диагностическим приемом при оценке психического состояния спортсмена. В результате различных раздражений (боль, эмоции, нервное напряжение) разность кожных потенциалов изменяется, и благодаря этому кожно-гальванический рефлекс может служить информативным показателем даже скрытых форм эмоционального возбуждения (IV—13, 34, 36).

Стационарная разность потенциалов между участками кожи, или «тоническая составляющая» кожно-гальванической реакции равна 10—20 мв. В момент раздражения могут наблюдаться быстрые изменения потенциала («фазическая составляющая» КГР) с амплитудой до нескольких сотен милливольт. Чем выше амплитуда фазической составляющей КГР, тем при прочих равных условиях выше реактивность нервной системы у спортсмена.

Электроды для записи кожно-гальванической реакции конструктивно схожи с электромиографическими электродами. Обычно их размещают на ладонях, на поверхности стопы, на лбу или на шее — т. е. на тех участках кожи, которые более других богаты нервными окончаниями и потовыми железами.

Интересно, что кожно-гальваническая реакция проявляется не только в изменении электрического потенциала между различными участками кожи, но и в изменении электрического сопротивления между ними. В связи с этим, на протяжении всей истории исследования

кожно-гальванического рефлекса его изучение велось параллельно двумя путями: путем измерения разности биопотенциалов (КГР по И. С. Тарханову) и путем измерения электрического сопротивления (КГР по Ферре). На рис. 28 изображена типичная форма кожно-гальванической реакции.

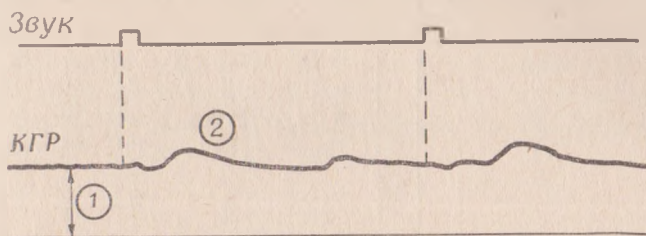


Рис. 28. Кожно-гальваническая реакция при действии сильного звукового сигнала.

1 — уровень тонической составляющей, 2 — фазическая составляющая.

Усилители биопотенциалов

Для регистрации и записи электрических биопотенциалов наряду с электродами необходимы усилители биопотенциалов, к которым предъявляются следующие требования: высокий коэффициент усиления в полосе частот регистрируемого сигнала, высокое входное сопротивление, высокая линейность и низкий уровень внутренних помех, высокий коэффициент подавления внешней синфазной помехи, экономичность в потреблении энергии источника питания, малый вес и габариты.

Выполнить все перечисленные требования трудно. Эта задача сегодня удовлетворительно решена в выпускаемых промышленностью стационарных усилителях, технические характеристики которых сведены в таблицу № 10. Вместе с тем, опубликованы сообщения о сверхминиатюрных усилителях, умещающихся в корпусе электрокардиографического или электромиографического электрода. Такие усилители конструируются на основе интегральных схем, пленочных схем и других современных элементов электронной техники.

II. ДАТЧИКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Своими успехами биофизика во многом обязана подвижности ученых прошлого. В те времена (XVI—XIX век) техника измерений была еще очень несовершенной и еще более, чем сегодня, каждое техническое новшество открывало перед исследователем новые пути в неизведанное. И когда-нибудь будет написана увлекательная книга о биофизике, состоящая

Технические характеристики усилителей биопотенциалов

№	название усилителя	коэфф. усиления по U	полоса пропускания при паспортн. неравномерности частотн. хар-ки	уровень шума при замкн-входе	входное сопротивление	амплитуда выходного сигнала	число каналов	габариты	вес комплекта
1	БНУ 4-0,1	$3 \cdot 10^4$	0,2—2000	—	10,0	3,0	2×2	370×240×113 (блок усилит.) 82×136×66 калибратор 370×240×160 ист. пит.	19,0
2	УБП1-02	$2,5 \cdot 10^6$	0,1—15000	3,5	0,66	5,0	1	470×275×190 блок питания 460×265×195 усилитель	25,0
3	УБП2-03	$1,6 \cdot 10^4$	0,2—40000	3,0	25,0	3,0	2	370×112×113 (2 шт.) 370×240×160 230×185×83 135×82×66	4,5×2 12,0 2,0 1,2
4	Сигнал-2	$1,0 \cdot 10^5$	0,3—1500	5,0	10,0	5,0	1	300×227×185	8,0
5	УУВФ-4	$1,0 \cdot 10^5$	0,1—1200	3,0	25,0	6,0	4	имеется несколько вариантов конструктивного исполнения	—

из биографий изобретателей физических и биофизических методов исследования и биографий ученых, внедривших эти изобретения в жизнь. Открытые десятки и сотни лет назад, многие физические явления и остроумные технические новинки используются сегодня для измерения силы, ускорения, скорости, перемещения и массы спортсмена и отдельных частей его тела.

Один из возможных вариантов систематизации этих способов определил архитектонику данного раздела и таблицы № 11. В таблице строки соответствуют измеряемым переменным, а столбцы — физическим явлениям, на которых основано измерение этих переменных.

Таблица 11

Методы измерения биомеханических переменных

физическое явление, лежащее в основе метода измерения измеряемая переменная	тензо-эффект	пьезо-эффект	электро-магнитная индукция	закон Ома	эффект Доплера	фото-эффект	радиоактивное и рентгеновское излучение	фотография
Сила	+!	+	—	—	—	—	—	—
Ускорение	+!	+	—	—	—	—	—	—
Скорость	—	—	+!	—	+?	+!	—	—
Перемещение линейное	—	—	+	—	—	+	—	+!
Перемещение угловое	—	—	—	+!	—	—	—	+
Массы и размеры частей тела	—	—	—	—	—	—	+	+?

Примечание:

- В таблице приняты следующие обозначения:
 +! — данное физическое явление широко используется для измерения данной переменной;
 + — используется редко;
 — — не используется;
 +? — исследования в этой области начаты.
- Нужно иметь в виду, что некоторые переменные могут быть вычислены по результатам измерения других переменных, например:
 а) перемещение, скорость и ускорение однозначно связаны между собой операторами дифференцирования и интегрирования;
 б) зная длину сегмента тела (например, лучевой кости), можно по результатам измерения суставного угла (в данном случае — угла в локтевом суставе) вычислить траекторию сустава на другом конце сегмента (в данном случае — лучезапястного).

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ

Закон Ома

Так называется простой закон, устанавливающий связь между силой тока (I) в электрической цепи, ее сопротивлением (R) и напряжением (U):

$$I \text{ (а)} = \frac{U \text{ (в)}}{R \text{ (ом)}}$$

Открыл этот закон в 30-х годах XIX столетия немецкий школьный учитель Георг Ом.

Закон Ома нашел множество практических применений и среди них — делитель напряжения, предназначенный для получения плавно изменяющегося напряжения от источника постоянного напряжения. Напряжение на выходе делителя прямо-пропорционально величине сопротивления между нижней точкой делителя и скользящим контактом. Изменение положения скользящего контакта приводит к изменению напряжения, снимаемого с делителя. Делителями напряжения, или потенциометрами мы пользуемся как в быту (регулятор громкости в радиоприемнике, регулятор яркости в телевизоре), так и для спортивных измерений — при измерении суставных перемещений (Л. IV—5, 7, 21, 43 и др.).

Тензоэффект

Этот термин объединяет целый ряд физических явлений, обладающих общей чертой: при появлении в материале механического напряжения (*tensio* — в переводе с латинского означает «напрягаю») изменяются физические или химические свойства материала. В 1856 году английским ученым Томсоном-Кельвином было замечено, что при деформировании металлов изменяется их электрическое сопротивление. Несколько позже, в 1881 году русский физик О. Р. Хвольсон установил, что при растяжении или сжатии проволоки меняются не только ее геометрические размеры (длина и площадь поперечного сечения), но и удельное сопротивление.

Принцип действия тензосопротивлений основан на том, что сопротивление проволоки зависит от удельного сопротивления материала (ρ), прямо-пропорционально длине (l) проводника и обратно-пропорционального его сечению (S): $R = \rho \frac{l}{S}$

Ценные качества проволоки как тензочувствительного материала нашли практическое применение в измерительной технике после того, как в 1937 году американцы Е. Симмонс

(Калифорнийский технологический институт) и А. Рюдис (Массачусетский технологический институт) стали наклеивать тонкие проволочки на поверхность исследуемого материала и установили, что проволока точно повторяет деформацию образцов, а ее сопротивление изменяется пропорционально изменению растягивающих и сжимающих деформаций.

Тензодатчики сопротивления широко используются в спорте для измерения силы (динамометрия), ускорения (акселерометрия) и колебаний центра тяжести (стабилография). Тензодатчик наклеивается на спортивный инвентарь. Развиваемая спортсменом сила вызывает механические деформации инвентаря, одновременно деформируется тензодатчик и в результате изменяется его электрическое сопротивление и электрическое напряжение на выходе измерительной схемы (Л. IV—20, 25, 38).

Пьезоэлектрический эффект

Состоит в возникновении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов и был открыт братьями Кюри в 1880 году. Пьезоэлектрическими свойствами обладают кварц, сегнетова соль, титанат бария. Чем большая сила воздействует на кристалл, тем больше генерируемый кристаллом электрический потенциал. Максимальные напряжения кристалла сопровождаются появлением электрических сигналов величиной до нескольких вольт.

Недостатком пьезокристаллических датчиков является их хрупкость. Будучи закреплен на силоизмерительном элементе, пьезодатчик легко приходит в негодность при сильном ударе по силоизмерительному элементу (точно так же, как и пьезоэлектрическая звукоснимающая головка обычного электропроигрывателя).

Электромагнитная индукция

В 1831 году М. Фарадей обнаружил, что если проводник перемещать в магнитном поле, то на концах проводника возникает электрическое напряжение. Величина его тем больше, чем больше напряженность магнитного поля, чем большее число витков провода пересекает магнитные силовые линии и чем выше скорость перемещения проводника.

Датчики, использующие явление электромагнитной индукции, очень чувствительны и позволяют регистрировать скорость при незначительных перемещениях: скорость колебаний стенок кровеносных сосудов (Л. II—42), тремор частей тела и т. п.

Фотоэлектрический эффект

Фотоэффектом называется физическое явление, состоящее в том, что под действием света в полупроводнике появляется электрический ток. Фотоэффект открыт Генрихом Герцем в 1887 году и в дальнейшем тщательно исследован выдающимся русским физиком А. Г. Столетовым. (1839—1896). Не только энергия видимого света может преобразовываться в электрическую энергию. Аналогично фотонам видимого света действуют ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи и даже менее энергоемкие инфракрасные (тепловые) лучи. В спорте фотоэффект используется при измерении скорости передвижения спортсмена и в системах «фотофиниш».

Эффект Допплера

В честь австрийского физика и астронома Х. Допплера (1803—1853) так названо физическое явление, состоящее в следующем. Частота колебаний, которые мы слышим (тон звука) или видим (цвет предметов) зависит от того, с какой скоростью (V) приближается или удаляется источник излучения. При приближении источника колебаний наблюдатель воспринимает в единицу времени большее число колебаний, чем на самом деле излучается. А при удалении излучателя регистрируемая наблюдателем частота колебаний (f_{II}) кажется наблюдателю более низкой, чем в действительности излучаемая частота (f):

$$f_{II} = f \cdot \frac{c}{c - V}$$

где c — скорость распространения носителя информации — звука или электромагнитного излучения. Эффект Допплера применяют при дистанционном измерении скоростей движущихся тел в астрономии, радиолокации, авиации, а в последние годы в кардиологии — для измерения скоростей движения сердечной мышцы и клапанов сердца.

2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение силы

Раздел измерительной техники, посвященный измерению сил («динамометрия»), одним из первых нашел применение в спорте. При измерении силы отдельных мышечных групп уже несколько десятков лет пользуются пружинными динамометрами — кистевыми, становыми и т. д. Пружинные динамометры удобны и надежны в работе, но имеют ограниченную область применения, поскольку инерционны и не позволяют проследить за характером изменения силы при быстротекающих движениях.

Значительно удобнее тензометрические системы измерения силы (Л. IV—7, 12, 15, 20, 24, 25, 32, 37, 38). Достаточно на спортивный инвентарь наклеить тензодатчики, подключить их к тензоусилителю, а усилитель — к самописцу — и измерительная система готова. При наклеивании датчиков нужно соблюдать определенные правила. Место наклейки необходимо тщательно обезжирить. Приклеивать тензодатчик лучше всего циакриновым клеем или клеем БФ-2, БФ-4, а также целлулоидным, представляющим собой раствор целлулоида в ацетоне. Место наклеивания и датчик промазывают тонким слоем клея дважды, с интервалом 10 минут, после чего датчик крепко прижимают к месту наклейки и стараются выдавить лишний клей и пузырьки воздуха. После просыхания датчики для защиты от влаги покрывают еще одним слоем клея или слоем лака. Приобретая тензодатчики, полезно руководствоваться данными, собранными в таблице 12.

Таблица 12

Технические характеристики некоторых проволочных сопротивлений, выпускаемых отечественной промышленностью.

Обозначение	База	Номинальное сопротивление	Размеры	
			длина	ширина
			мм	мм
2ПКБ-5-50X (Г)	5	50	17	8
2ПКБ-5-100X (Г)	5	100	17	8
2ПКБ-10-100X (Г)	10	100	22	10
		200		10
		и т. д.		
2ПКП-5-50	5	50	17	8
2ПКП-5-100		100		10
2ПКП-10-100	10	100	22	10
		200		
		и т. д.		

Примечание:

Обозначение тензосопротивления расшифровывается следующим образом:

первая буква (П) указывает на то, что решетка выполнена из проволочек; материал тензопроволоки представлен второй буквой (К — константан); третья буква определяет основу (Б — бумажная, П — пленочная); далее следуют цифры, соответствующие длине «базы» (l_0 на рис. 30) и номинальному электрическому сопротивлению датчика. Последняя буква (X или Г) характеризует диапазон температур, в котором может работать датчик (X — не более 30°C, Г — не более +180°C).

Тензометрические измерители силы применяются во многих видах спорта (Л. IV—7, 8, 12, 18, 23, 32, 37, 42, 45). Наибольшую сложность при конструировании систем для измерения силы представляет выбор способа размещения и фиксации тензодатчиков. В гребле датчики наклеиваются на конус уключины или весло (между рукояткой и уключиной), на подножку и на банку. В гимнастике — на брусья, кольца, ручки коня и т. д. В волейболе и плавании используют специальную перчатку с тензодатчиками, что даст возможность измерять силу удара и гребка. В велосипедном и конькобежном спорте для измерения силы немного видоизменяют конструкцию педали и конька. В водно-лыжном спорте тензоспротивления наклеиваются на специальную вертикально стоящую стойку. К верхней части стойки прикрепляется один конец фала, а за другой конец держится воднолыжник; образец получаемых при этом записей представлен на рис. 29.

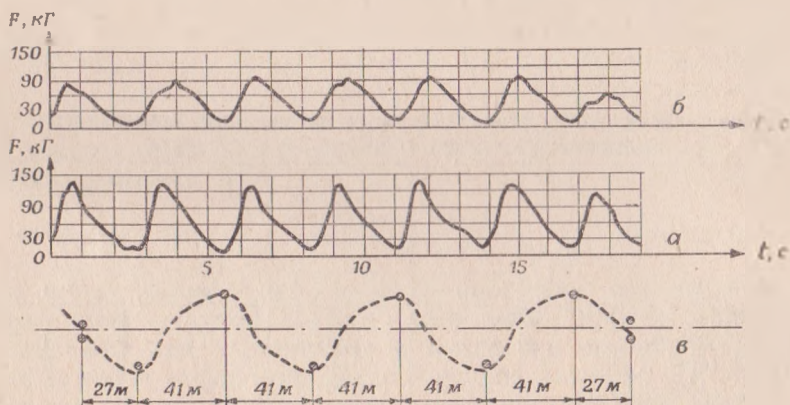


Рис. 29. Тензометрическая регистрация усилий при прохождении воднолыжной трассы (в) мастером спорта (а) и перворазрядником (б) со скоростью катера-буксировщика 48 км/час. Штрихпунктир — путь катера. Пунктир — путь воднолыжника.
(по В. Л. Нехаевскому и Ю. Л. Нехаевскому, 1972).

Весьма перспективно измерение реакции опоры при помощи тензометрических стелек (Л. IV—4). Тензостельки вкладываются в беговые туфли и состоят из текстолитового основания с закрепленными на нем тензометрическими датчиками и текстолитовой опорной пластины. Тензометрическим датчиком служит плоская резиновая пробка с намотанной вокруг нее проволокой из константана. Последовательно соединенные датчики расположены на основании таким образом, чтобы всякое давление стопы на подошву беговой туфли

воспринималось резиновыми пробками. При давлении на датчик резиновая пробка расширяется, растягивая намотанные вокруг нее витки проволоки и увеличивая их электрическое сопротивление. Тензостельки позволяют измерять вертикальную составляющую реакции опоры в диапазоне от нуля до 5000 ньютонов (500 кг).

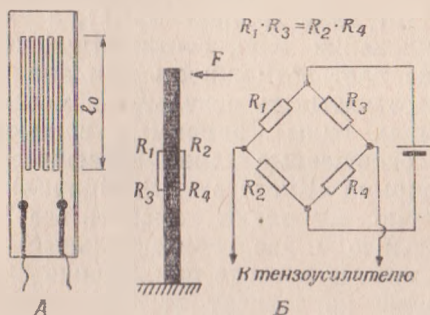


Рис. 30. Тензодатчик:

А — внешний вид датчика; l_0 — «база датчика»;
 Б — размещение датчика на спортивном инвентаре, мостовая измерительная схема и условие ее балланса; F — измеряемая сила.

Широкое распространение в спорте получают тензо-динамографические платформы, представляющие интерес для бегунов, ходоков, прыгунов, волейболистов, баскетболистов, футболистов и представителей многих других видов спорта (Л. IV—15, 19, 49, 50). Тензоплатформы устанавливают под покрытием беговой дорожки или дорожки разбега в секторе для прыжков, под покрытием волейбольной или баскетбольной площадки. При исследовании силы удара футболиста тензоплатформы размещают вертикально в плоскости ворот (в «шестерке», в «девятке» и т. д.). Познакомимся с конструкцией тензо-динамографической платформы более подробно.

Чаще всего тензоплатформа состоит из металлической рамы, к которой жестко прикрепляются опорные стержни. На опорные стержни сверху опирается настил, непосредственно взаимодействующий со спортсменом или спортивным снаряжением. Тензодатчики наклеиваются на опорные стержни. Расположение датчиков зависит от направления интересующей нас силы. Так, для измерения вертикальной составляющей опорной реакции тензосопротивления наклеивают на верхнюю и нижнюю поверхности опорных стержней. Для измерения горизонтально направленной силы тензосопротивления наклеивают на боковые поверхности опорных стержней, причем в момент исследования тензоплатформу размещают так, что-

бы оси опорных стержней были перпендикулярны направлению измеряемой силы (например, перпендикулярны направлению разбега).

Перед началом измерений тензометрический усилитель необходимо сбалансировать, а всю установку в целом — оттарировать. Процесс тарирования состоит в том, что к силоизмерительному элементу прикладывают одно за другим различные значения силы (от нуля до максимума), а на самописце регистрируют отклонения пера, соответствующие разным усилиям. Тарировка дает возможность при анализе тензометрических записей отсчитывать результат измерения непосредственно в единицах силы — например, в ньютонах.

Наиболее совершенные динамографические платформы производятся фирмой «Кистлер» (Швейцария). Они обладают высокой точностью, позволяют измерять все 3 составляющие силы (вертикальную и две горизонтальные) и, кроме того, скручивающий момент в точке приложения силы, причем результат измерения не зависит от точки приложения силы. Интересно, что в динамографических платформах фирмы «Кистлер» роль датчиков выполняют не тензосопротивления, а пьезоэлектрические датчики.

Измерение ускорения

Методы измерения ускорения известны в литературе под названием методов акселерометрии (от «accelego» — ускоряю и «metreo» — измеряю). Из многочисленных вариантов акселерометров (Л. IV—3, 30, 32, 39, 40) наибольшее распространение в спорте получили измерители ускорения, основанные на тензоэффекте и пьезоэлектрическом эффекте. И в том, и в другом случае измеряется сила инерции, возникающей при ускорении или при торможении движущегося тела.

В тензометрическом акселерометре тензосопротивления наклеиваются на упругой элемент датчика (рис. 31). Ускорение вызывает деформацию упругого элемента и изменение сопротивления тензодатчиков. Понятно, что один упругий элемент способен воспринимать ускорение лишь в одной плоскости. Для регистрации полного вектора ускорения (в трех плоскостях) в одной конструкции монтируют три одинаковых датчика и ориентируют их перпендикулярно друг другу, подобно осям декартовых координат.

Основные характеристики некоторых тензометрических датчиков ускорения представлены в таблице 13 А. Их недостаток — инерционность, не позволяющая измерять колебания с частотой выше 50—100 Гц, — в спортивных измерениях чаще всего несущественен. Если все же требуется регистрировать быстротекущие процессы (например, при изучении

ударных действий), то применяют более высокочастотные — пьезоэлектрические датчики (таблица 13Б).

Читатель знаком с пьезоэлектрическими датчиками ускорения — основной частью звукоснимателя электропроигрывателя. Хрупкость пьезокристаллов диктует особую осторожность при их эксплуатации и объясняет тот факт, что пьезодатчики сравнительно мало используют в спорте.

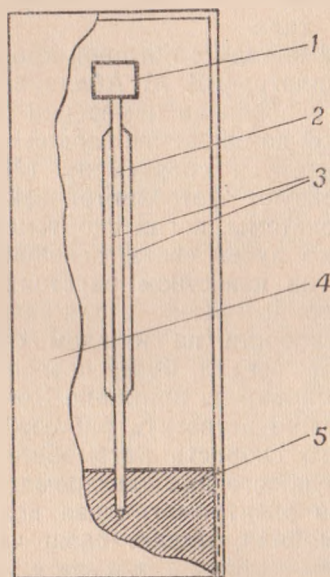


Рис. 31. Конструкция тензометрического датчика ускорения: 1 — грузик, 2 — упругая металлическая пластина, 3 — тензосопротивления, 4 — корпус, 5 — основание (по С. И. Алиханову, 1969).

Таблица 13

Основные характеристики тензометрических (А) и пьезоэлектрических (Б) датчиков ускорения.

Тип датчика	Чувствительность (не менее)	Диапазон измеряемых частот	Электрическое сопротивление	Вес	Габариты
	мВ/м·с ⁻²	Гц	Ом		
А МП-01	—	0—45	200	200	58×32×30
		0—90	500		
Б МП-02 ВЗ4-3	1,2	0—50	200	200	57×50×25 28×43
		50—10000	—		
Д-14	2,5	5—10000	—	27	16×30
ПИ93-4	1,0/0,1	3—10000	—	18	20×17

Измерение скорости

Скорость движения можно определить путем интегрирования кривой изменения ускорения во времени или путем дифференцирования кривой изменения координат движущейся точки во времени. (Л. II—24). Но существуют и такие методы измерения, которые предназначены специально для измерения скорости. Методы измерения скорости передвижения спортсмена отличаются от методов измерения скорости движения частей его тела.

В первом случае наряду с обычной хронометрией получил распространение спидограф В. М. Абалакова. Принцип действия этого прибора основан на измерении скорости вращения катушки, приводимой во вращение гибкой нитью, прикрепленной к перемещающемуся спортсмену (Л. IV—1).

Все чаще используют фотоэлектрические, а в последнее время — лазерные системы, когда спортсмен пересекает один за другим несколько лучей света, освещающих фотоэлементы, установленные на известном расстоянии друг от друга (Л. IV—51). Электронный вычислитель автоматически подсчитывает среднюю скорость на каждом отрезке.

Еще один, на наш взгляд, более перспективный метод измерения скорости основан на принципе Допплера (см. выше). На автодорогах можно встретить работника ОРУД, дистанционно измеряющего скорость автомобиля с помощью специального ультразвукового или электромагнитного пистолета. Ультразвуковая или электромагнитная волна, отражаясь от движущегося автомобиля, меняет свою частоту. Сравнивая частоту отраженного сигнала с частотой излучаемого сигнала, вычисляют скорость движения. Первые испытания доплеровских измерителей скорости передвижения спортсмена свидетельствуют о жизнеспособности такого метода. Думается, что по принципу Допплера можно изготовить и автономный «спидометр», если и излучатель, и приемник разместить на спортсмене и направлять излучаемый сигнал на беговую дорожку, стену или другой неподвижный предмет.

Самым распространенным и точным методом измерения скорости движения частей тела на сегодняшний день остается киносъемка с последующей обработкой кинограммы (см. главу VI). Однако на V Всемирном конгрессе по биомеханике (1976) демонстрировалась и более совершенная система шведского производства — «Selspot», что в буквальном переводе означает «разделяющиеся точки». Система состоит из 30-ти источников инфракрасного (теплого) излучения, размещаемых на спортсмене, двухкоординатного фотодиода, играющего роль «электронного глаза» и подключенного к «мозгу» — электронной вычислительной машине. Электронный вы-

числитель периодически «опрашивает» фотодиод, чем достигается значительное преимущество описываемой системы перед системами фото- и киноизмерений: если интересующая исследователя точка на теле спортсмена неподвижна или перемещается незначительно, то соответствующие точки на выходе измерительной системы не сливаются, а фиксируются одна за другой в функции времени. Система «Selspot» автоматически вычисляет и вычерчивает графики скоростей и ускорений, а также траектории всех 30-ти изучаемых точек.

Измерение угловых перемещений

Осуществляется методом гониометрии (gonios — угол, metreo — измеряю). Первоначально гониометрия представляла собой часть тригонометрии, посвященную способам измерения углов. В дальнейшем гониометром стали называть: в физике — прибор для измерения углов между гранями кристаллов, а в антропологии — прибор для измерения углов при изучении человеческого тела.

Величины суставных углов и углов между элементами спортивного инвентаря являются важными пространственными характеристиками движения. Непрерывный контроль за величинами угловых перемещений полезен как при изучении спортивной техники, так и при обучении рациональной технике движений (Л. 1—5, VIII—25).

Для регистрации суставных перемещений в настоящее время чаще всего используется электрогониометрия, когда величины угловых перемещений преобразуются в пропорциональные величины электрического напряжения. Система для регистрации гониограммы обычно состоит из датчика с источником питания и крепежными приспособлениями и приборов для регистрации и визуальной индикации гониограммы (рис. 32).

Из датчиков гониограммы наибольшее распространение получил потенциметрический датчик. Основным элементом потенциметрического датчика является переменное сопротивление (потенциометр), ось которого соединена с одной из ветвей гониометра*, а корпус — с другой. Ветви гониометра размещаются параллельно костям исследуемой кинематической пары, причем ось потенциометра должна совпадать с осью сустава. Потенциометр включается в простейшую электрическую цепь, схема которой изображена на рис. 32. При

* Термин «ветви гониометра» заимствован из учебника Д. Д. Донского «Биомеханика с основами спортивной техники» (М., 1971). В специальной литературе встречаются также термины «ножки гониометра» и «направляющие гониометра», употребляемые в том же смысле.

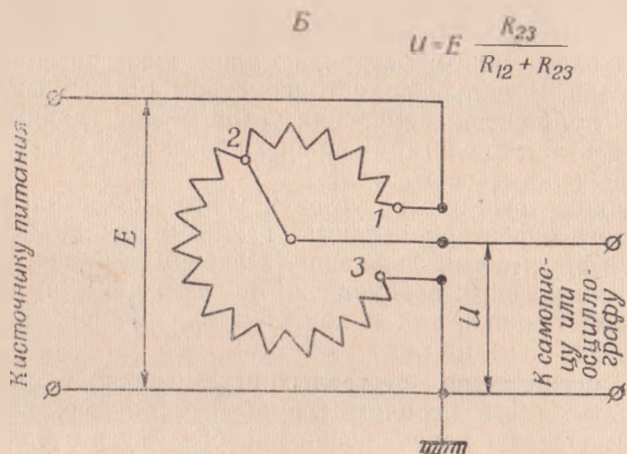
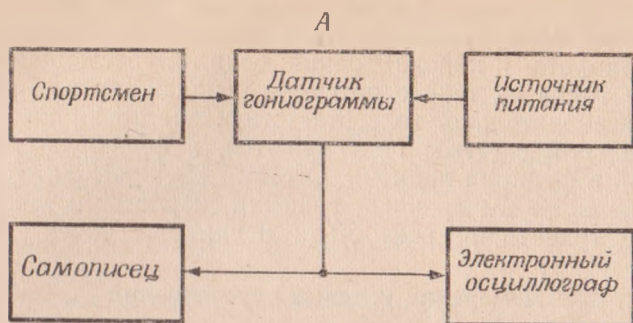


Рис. 32. Метод гониометрии:
 А — блок-схема гониометрической установки
 Б — схема потенциометрического датчика гониограммы.

изменении суставного угла меняется снимаемое с потенциометра электрическое напряжение (U).

Питание гониометрического датчика осуществляется чаще всего источником постоянного напряжения (например, батареей для карманного фонаря). Получаемый при этом непрерывный электрический сигнал удобно регистрировать на самописце. Если исследования проводят в реальных условиях тренировки — на стадионе, спортивной площадке, корте, — часто применяют радиотелеметрию. В этом случае в качестве питающего напряжения используют импульсный сигнал, и изменение суставного угла преобразуют в пропорциональную амплитуду электрических импульсов.

Перед началом работы гониометрическую установку следует оттарировать. Тарировка позволяет отсчитывать получа-

тые значения суставных углов непосредственно в градусах. Для тарировки устанавливают по транспортиру одно за другим различные значения угла между ветвями гониометрического датчика и измеряют соответствующие величины электрического напряжения на выходе гониометрической системы (или величины отклонений пера самописца). В современных гониометрах процесс тарировки облегчается использованием потенциометров, оснащенных шкалой, показывающей угол поворота движка потенциометра.

Дальнейшее развитие гониометрической техники идет по пути создания более сложных и точных датчиков гониограммы. Так, плечевой гониометр конструкции С. Я. Женина интересен тем, что позволяет измерять угловые перемещения руки в плечевом суставе одновременно в двух плоскостях.

Другим направлением совершенствования гониометрической техники стала разработка многоканальных гониометрических датчиков. Датчики размещаются одновременно на нескольких суставах и снабжены приспособлениями для подгонки размеров экзоскелета под индивидуальные анатомические особенности каждого исследуемого спортсмена (Л. IV—21).

Измерение колебаний центра масс спортсмена

Способность сохранять равновесие — одно из важнейших условий жизни человека. Во многих видах спорта (гимнастика, акробатика, стрельба, фигурное катание, гребля и т. д.) способность сохранять равновесие служит важным фактором высоких спортивных достижений. Методика количественного анализа устойчивости называется стабилотографией. Кривая изменения координат центра масс тела при сохранении позы называется стабилотограммой (Л. IV—29).

Регистрация стабилотограммы чаще всего осуществляется с помощью тензометрических датчиков. Важнейшей частью установки для регистрации стабилотограммы является стабилотографическая платформа, представляющая собой площадку, укрепленную на стальном стержне прямоугольного сечения. Если общий центр масс человека, стоящего на стабилотографической платформе, не проецируется на центральную ось стержня, то под действием нагрузки стержень деформируется: одна из граней стержня сжимается, а противоположная ей грань растягивается. Эту деформацию испытывают и тензодатчики, наклеенные на каждую грань стержня. Стабилотограмма регистрируется двухкоординатным самописцем (например, типа ПДС-021) или двухкоординатным электронно-лучевым осциллографом (например, типа ВЭКС-4); при этом горизонтальные перемещения светящейся точки (электронного луча)

на экране осциллоскопа отражают колебания центра масс в направлении X, а вертикальные — в направлении Y.

Метод стабилотографии приносит пользу как при изучении биомеханических характеристик движения, так и при конструировании тренажеров, предназначенных для разучивания упражнений на равновесие. Стабилотография может оказаться полезной при лечении людей с нарушениями вестибулярного аппарата. Наряду с этим, стабилотография позволяет проводить тестирование состояния нервной системы спортсмена перед соревнованиями, а в ряде случаев — фиксировать факт приема алкоголя и других возбуждающих средств.

Измерение линейных перемещений

Осуществляется фото и кино- методами (см. главу VI).

Другие способы измерения линейных перемещений распадаются на две группы. В первую входят простые, общедоступные механические способы. Всем известна, например, лента В. М. Абалакова, предназначенная для измерения высоты выпрыгивания: спортсмен прыгает вверх и плечами тянет за собой конец измерительной ленты, другой конец которой прикреплен к полу.

Вторую группу составляют способы, использующие электронику. Один из них основан на фотоэлектрическом эффекте. Спортсмен во время движения прерывает световые лучи, падающие на фотоэлементы. Местоположение прерванного луча определяет положение спортсмена в пространстве.

Другой способ из этой группы — телевизионный. Спортсмен, например, штангист, выполняет движение, которое фиксируется на экране специального телевизора в виде непрерывной светящейся линии благодаря тому, что на грифе штанги закреплена светящаяся лампочка.

Электроника позволяет подчас чрезвычайно изящно решать задачи обучения и тестирования спортсмена. Так, в работе Е. П. Суханова устойчивость тела стрелка регистрировалась стабилотографическим методом. Одновременно регистрировались колебания оружия, для чего ствол во время прицеливания помещался внутрь специальной измерительной рамки.

Для измерения положения и перемещений дульного среза ствола используется явление электромагнитной индукции. На стволе укрепляется небольшая катушка индуктивности и излучатель электромагнитных волн. Измерительная рамка образована четырьмя катушками индуктивности, витки которых попарно взаимно параллельны. Катушки служат приемниками излучаемых дульным срезом электромагнитных волн и соединены так, что с каждой пары параллельных катушек снимается сигнал, равный разности наведенных в них ЭДС.

В результате измерительная рамка фиксирует горизонтальные и вертикальные перемещения ствола и не реагирует на изменения скорости перемещения.

Синхронная регистрация колебаний центра масс стрелка и колебаний оружия открывает широкие возможности для системно-структурного анализа техники прицеливания, для выявления «узких мест» в подготовке стрелка и для его обучения.

Измерение инерционных характеристик тела спортсмена

Определение масс и моментов инерции различных частей тела спортсмена представляет интерес как для теории движения (позволяя аналитически рассчитывать и моделировать движения), так и для спортивной практики. Одна из первых работ в этом направлении была выполнена в 1889 году Брауне и Фишером, которые расчленили замороженные трупы и затем массы частей тела определяли взвешиванием, а моменты инерции — методом качания. Метод качания широко известен, но весьма трудоемок. Тот же недостаток характерен для метода измерения моментов инерции тела человека посредством крутильного маятника (Л. IV—16).

Массы отдельных частей тела живого человека можно определить методом погружения, основанным на законе Архимеда, согласно которому всякое тело при погружении в воду теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им вода. Понятно, что метод погружения обладает важными и принципиально неустранимыми недостатками: низкой точностью и неприятными ощущениями, которые испытывает исследуемый человек.

Несколько лет назад американские исследователи, а вскоре затем наши соотечественники В. М. Зацюрский, С. К. Сарсания, В. Н. Селуянов, Л. М. Райцин и их сотрудники (Л. IV—33) предложили использовать для определения геометрии масс тела спортсмена радиоизотопный метод. Причем, если биомеханикам из Калифорнии не удалось продвинуться дальше экспериментов (измерение массы бараньей ноги и т. п.), то группа исследователей, руководимая профессором В. М. Зацюрским, практически решила задачу измерения масс тела живого спортсмена, и результаты этих измерений уже начинают использоваться в спортивной практике.

В основе метода лежат законы физического взаимодействия пучка γ — излучения с веществом. Исследуемого спортсмена укладывают на кровать, которая медленно движется поступательно. С более высокой скоростью и перпендикулярно направлению перемещения кровати движутся конструктивно объединенные источник γ -излучения и приемник γ -излучения — детектор, причем источник расположен над спортсменом, а детектор — под спортсменом. Детектор настроен таким

образом, чтобы регистрировался только узкий, диаметром 1 см пучок гамма-излучения.

В процессе исследования все тело спортсмена просвечивается узким пучком — γ -излучения, перемещающимся по зигзагообразной линии. В разных участках тела гамма-излучение ослабляется по-разному, в зависимости от плотности вещества и от его количества. Сигнал с детектора регистрируется на перфоленте и затем вводится в электронно-вычислительное устройство, где автоматически рассчитывается момент инерции любого участка тела относительно произвольно выбранной оси. Описанный принцип измерения инерционных характеристик и реализующая его установка на сегодняшний день, безусловно, являются наиболее интересным из всего, что сделано в этой области.

*

Представленные сведения, безусловно, не исчерпывают всего многообразия проблем, возникающих при конструировании датчиков информации о спортсмене. Не имея возможности, в частности, рассмотреть методы измерения биохимических, медицинских и психологических показателей, мы отсылаем читателя к специальной литературе по этим дисциплинам. Конечно же, включенные в библиографию 50 литературных источников не составляют и 5% от океана литературы, посвященной датчикам биомеханических и биоэлектрических величин. Не претендуя на всеобъемлющий обзор, настоящая глава призвана ввести читателя в рассматриваемую проблему и вооружить его способом упорядочения уже накопленной и непрерывно поступающей информации. То же можно сказать и обо всех последующих главах книги.

Глава V. ТЕЛЕМЕТРИЯ * В СПОРТЕ

Важным звеном измерительной системы является телеметрическая линия связи, по которой информация о состоянии спортсмена от датчиков передается на регистрирующие и вычислительные устройства.

Известно много разновидностей телеметрических систем, отличающихся друг от друга прежде всего физической природой переносчика информации. В проводной телеметрии эту роль выполняет поток электронов, в радиотелеметрии — радиоволны, в гидротелеметрии — ультразвуковые колебания, распространяющиеся в воде. Кроме того, информация может

* Термин «телеметрия» составлен из греческих слов *tele* — далеко и *metron* — мера и означает «измерение на расстоянии»; иногда в том же значении используют термин «телеизмерение».

передаваться посредством лучей света и инфракрасных лучей.

Все известные способы передачи объединяет волновая природа переносчика информации. И звук, и свет, и тепловые (инфракрасные) лучи, и радиоволны суть периодические колебания. Отличаются же одни способы от других прежде всего частотой колебаний, т. е. числом колебаний носителя информации в единицу времени.

Частоты колебаний разных физических полей весьма разнообразны — от тысячных долей герца (инфразвуковые, или сверхнизкочастотные колебания) до астрономической цифры — 10^{20} Гц, соответствующей частоте колебаний космического излучения. Оперировать столь большими величинами частоты неудобно, и поэтому частоту колебаний часто заменяют длиной волны. Длина волны измеряется в единицах длины — метрах (м), миллиметрах (мм), микронах (μ), миллимикронах (м μ) и т. д. Частота периодических колебаний (f) связана с длиной волны (λ) соотношением $V = \lambda(\text{м}) \cdot f(\text{Гц})$, где V — скорость распространения носителя информации. Электромагнитные колебания (радиоволны, свет и др.) распространяются со скоростью триста тысяч километров в секунду. Звук распространяется в воздухе со скоростью 330 м/с, а в воде — со скоростью 1840 м/с.

Из всего многообразия телеметрических систем рассмотрим системы проводной телеметрии, радиотелеметрии и гидротелеметрии.

1. ПРОВОДНАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ

Запись электрокардиограммы, гониограммы, динамограммы, электромиограммы и других показателей жизнедеятельности спортсмена легче всего осуществить по проводам. Достоинство проводной телеметрии состоит в ее простоте и высокой помехоустойчивости. Основной недостаток — ограниченная подвижность спортсмена и невозможность использовать проводные телеметрические системы в борьбе, боксе, спортивных играх и других видах спорта, где спортсмен много и активно перемещается.

Проводная телеметрия применяется в подавляющем большинстве лабораторных исследований, а также в тех случаях, когда запись по проводам представляет собой самый простой и доступный способ получения нужной информации. Так обстоит дело, например, при исследовании пловцов в бассейне, где применение радиотелеметрических или гидроакустических систем хотя и возможно теоретически, но трудно осуществимо на практике.

Говоря о проводной телеметрии, нельзя не упомянуть о первых удачных опытах передачи физиологических сигналов и, в частности, электрокардиограммы по телефону. Наличие такой возможности открывает интересные перспективы централизованной обработки результатов наблюдений за спортсменами: результаты измерений по телефону могут быть переданы на вычислительный центр, а результаты вычислений, в свою очередь, по телефону могут быть сообщены тренеру.

III. РАДИОТЕЛЕМЕТРИЯ

В 1887 году тридцатилетний немецкий физик Генрих Герц сделал открытие, обессмертившее его имя и положившее начало радиотехнике. Герц открыл способ получения и обнаружения электромагнитных волн. Интересно, что сам Герц не оценил значения сделанного им открытия, заявив, что не видит в нем практической ценности. Но менее чем через 10 лет, 24 марта 1896 года (спустя 2 года после смерти Герца) Александр Степанович Попов с помощью изобретенного им радиотелеграфа передал первую в мире радиограмму «Генрих Герц». С этого памятного дня радио совершает свое триумфальное шествие по планете, даря людям все новые и новые возможности: телевидение, радиолокацию, радиоастрономию, радиоуправление, и, наконец, радиотелеметрию.

Возможности радиотелеметрии

Радиотелеметрия является отраслью радиотехники, разрабатывающей методы автоматической передачи по радио информации о результатах измерений. Применение радиотелеметрии в спорте делает возможным исследование спортсменов в естественных условиях тренировок и соревнований. При радиотелеметрическом исследовании спортсмен может свободно перемещаться по стадиону или спортивной площадке. Посредством радиотелеметрии исследовались: электрокардиограмма и электромиограмма (Л. V—1, 6, 9, 15, 17, 19, 22, 30, 31, 32), фонокардиограмма и сфигмограмма (Л. V—12, 15), давление крови (Л. V—14), потребление кислорода и легочная вентиляция, частота шагов, величины усилий и некоторые другие физиологические и биомеханические показатели.

Больше всего работ посвящено радиотелеметрической регистрации частоты пульса. Частоту сердечных сокращений по радио измеряли у представителей различных видов спорта: у прыгунов с шестом (Л. V—1) и с лыжного трамплина (Л. V—9), пловцов и подводников (Л. V—3,32), гребцов

(Л. V—10), конькобежцев (Л. V—9), всадника и лошади в конном спорте Л. V—19) и т. д.

В принципе все показатели жизнедеятельности спортсмена могут быть с равным успехом записаны как по проводам, так и посредством радиосвязи. Однако замена проводной линии связи радиолинией приводит к некоторому усложнению процедуры исследований и требует разработки и освоения достаточно сложной радиотелеметрической аппаратуры.

Основные характеристики радиотелеметрических систем

Совокупность технических средств для передачи результатов измерения по радио называется радиотелеметрической системой. Качество применяемых в спорте радиотелеметрических систем оценивается их техническими характеристиками. С точки зрения тренера важнейшими из них являются: число и перечень регистрируемых сигналов, дальность действия, вес размещаемого на спортсмене передающего устройства, время непрерывной работы без замены источников питания, точность передачи информации и наличие кварцевой стабилизации несущей частоты или другого приспособления, обеспечивающего бесперебойную и бесподстроечную связь спортсмена с тренером и регистрирующей аппаратурой. Основные характеристики некоторых из используемых в спорте радиотелеметрических систем представлены в таблице 14.

Радиотелеметрические системы бывают одноканальными и многоканальными. Число каналов равно числу одновременно контролируемых показателей. До недавнего времени в спорте преимущественно использовались одноканальные системы, например, ТЭК-1 и ряд телеметрических систем кустарного изготовления. Но одноканальные системы не могут решить всех проблем, стоящих сегодня перед тренером. В ряде случаев для получения достоверных сведений о функциональном состоянии спортсмена необходимо синхронно регистрировать несколько процессов — например, электромиограммы нескольких мышц. В других случаях, когда соревнования проводятся командами, важно объективно контролировать функциональное состояние всех участников команды, чтобы обеспечить максимальную отдачу сил каждым из них и в то же время не допустить переутомления у недостаточно подготовленных. Для решения названных и подобных им задач требуются многоканальные телеметрические системы, позволяющие получать большой объем информации об одном или нескольких спортсменах.

Многоканальная радиотелеметрия сделала в последние годы значительные успехи. От кустарных, не всегда надежных образцов современный спорт постепенно переходит к серий-

ным системам промышленного изготовления. Примером тому — четырехканальная радиотелеметрическая система «Спорт», позволяющая записывать электрокардиограмму, электромиограмму, температуру тела и автоматически вычислять частоту пульса и частоту дыхания (Л. V—6). Радиотелеметрическая система «Спорт» дает возможность по желанию тренера регистрировать либо 4 показателя у одного спортсмена, либо по два показателя одновременно у двоих, либо по одному — у четверых.

Под дальностью действия телеметрической системы понимают наибольшее расстояние между приемником и передатчиком, при котором сохраняется требуемая точность передачи информации. Дальность действия тем выше, чем больше вес и габариты источника питания в передающем устройстве. Не случайно поэтому радиопередатчики, предназначенные для спортивных залов (дальность действия до 30 м), могут весить 50—100 граммов; устройства, применяемые на стадионе (дальность действия до 150 м) имеют вес порядка 100—500 г. А вес передающего устройства радиотелеметрической системы с дальностью действия до 1—2 км исчисляется уже килограммами. Эти цифры верны для радиотелеметрических систем средней точности, в которых относительная приведенная погрешность передачи информации близка к 5%. Более высокая точность достигается ценой усложнения системы и, следовательно, ценой увеличения ее энергопотребления, габаритов и веса.

Точность радиотелеметрической системы можно оценить как прямо — по величине ошибки, так и косвенно — по ширине полосы пропускания каждого канала и по величине динамического диапазона.

Полоса пропускания системы определяется по ее амплитудно-частотной характеристике (см. гл. II). Всякий электрический сигнал, частотный состав которого укладывается в полосу пропускания канала связи, будет передан по этому каналу без искажений. Например, электрокардиограмма содержится в своем составе частоты от 0,2 до 100 гц и, следовательно, может быть с удовлетворительной точностью записана телеметрической системой с полосой пропускания 0,2—100 гц.

Динамический диапазон системы показывает, во сколько раз уровень измеряемого сигнала на выходе канала связи превышает уровень помехи. Обычно динамический диапазон измеряют в децибеллах (дб): $1 \text{ дб} = 20 \log \frac{A_c}{A_n}$, где \log — знак десятичного логарифма, A_c — предельно возможная амплитуда полезного сигнала, A_n — амплитуда помехи. Если, к примеру, полезный сигнал в сто раз больше помехи ($\frac{A_c}{A_n} = 100$),

то $\log \frac{A_c}{A_n} = \log 100 = 2$, и динамический диапазон системы равен 40 дБ.

Состав и принцип действия радиотелеметрической системы

Радиотелеметрическая система состоит из передающего и приемного устройства (рис. 33). Передающее устройство включает в себя: датчики информации с усилителями или преобразователями измеряемых величин в электрический сигнал, блок уплотнения радиоканала, радиопередатчик и передающую антенну. В состав приемного устройства входит приемная антенна, радиоприемник и блок разделения каналов.

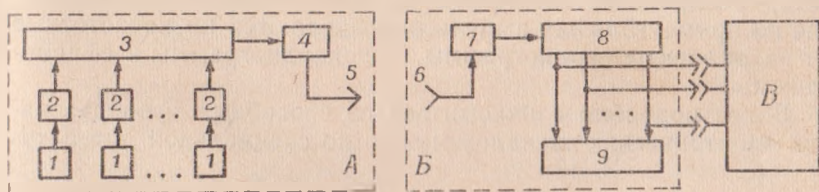


Рис. 33. Структурная схема многоканальной радиотелеметрической системы:

А — передающее устройство:

1 — датчики, 2 — усилители, 3 — блок уплотнения радиоканала,
4 — радиопередатчик, 5 — передающая антенна;

Б — приемное устройство:

6 — приемная антенна, 7 — радиоприемник, 8 — блок разделения каналов,
9 — регистрирующий прибор;

В — вычислительное устройство.

В многоканальной радиотелеметрии в целях экономии применяют «уплотнение» радиоканала, когда по одной радиолинии передается несколько измеренных величин. Способ уплотнения определяется способом преобразования инфранизкочастотных и низкочастотных физиологических и биомеханических сигналов в высокочастотные радиосигналы. Современные системы радиотелеметрии строятся по принципу двойного преобразования, когда инфранизкочастотные сигналы преобразуются в колебания звуковой частоты, а те, в свою очередь, преобразуются в сигналы радиочастоты. Преобразование, в результате которого низкочастотный сигнал воздействует на колебания высокой частоты и оказывается запечатленным в изменениях тех или иных показателей высокочастотного колебания, называется «модуляцией».

Для конкретизации сказанного рассмотрим работу 3-х канальной радиотелеметрической системы (Л. V—15), предназ-

наченной для дистанционной регистрации поликардиограммы спортсмена. Входящие в состав поликардиограммы сигналы (электрокардиограмма, фонокардиограмма и сфигмограмма) после усиления попадают на электронный коммутатор (К) передающего устройства. Коммутатор поочередно подключает выходы усилителей ко входу широтно-импульсного модулятора. Величина каждого из передаваемых сигналов — например, электрокардиограммы (0,2—100 гц) преобразуется в пропорциональную длительность импульсов (2000 гц) на выходе модулятора. В результате в общей импульсной последовательности, модулирующей сигнал радиопередатчика (около 30 мгц) чередуются импульсы, принадлежащие всем **передаваемым** каналам. На приемном конце радиолинии восстанавливается прямоугольная форма импульсов. Затем электронный коммутатор распределяет импульсы по соответствующим каналам, где из прямоугольных импульсов выделяются низкочастотные сигналы электрокардиограммы, фонокардиограммы и сфигмограммы.

Более подробно ознакомиться со способами преобразования электрических сигналов можно по специальной литературе (Л. V—7, 13, 18, 20).

Организация радиотелеметрического исследования

Необходимое условие успеха радиотелеметрического исследования состоит в абсолютной, безусловной надежности радиотелеметрической системы. Радиотелеметрическая система должна отлаживаться и тщательно проверяться **до начала исследования**. Исправление неполадок в процессе исследования, когда передающее устройство уже размещено на спортсмене, совершенно недопустимо: это редко приводит к ожидаемому результату и только дискредитирует радиотелеметрическую технику в глазах спортсмена. Если же радиотелеметрическая система надежно работает, то процесс измерения изучаемых показателей по радио отличается от измерения по проводам лишь более жесткими требованиями к тщательности наложения датчиков, а также тем, что тренер находится от спортсмена на значительном удалении и не имеет возможности обмениваться с ним информацией.

Если речевая связь тренера со спортсменом необходима, можно наряду с измерительной радиолинией организовать еще одну, вспомогательную. Специально для радиосвязи тренера со спортсменом предназначена радиостанция «Виталка». Можно воспользоваться также радиостанциями типа «Стройка» или «Тюльпан».

Наряду с техническим, медицинским и педагогическим, проблема радиотелеметрии имеет и еще один аспект — юридический. Дело в том, что работа радиостанций в нашей стра-

не строго регламентирована. Контроль за распределением радиочастот и их использованием осуществляют соответствующие отделы Министерства Связи СССР. Именно там и следует получать разрешение на проведение радиотелеметрических исследований.

И, наконец, последнее об организации радиотелеметрических исследований. Бытует еще мнение, будто спортсмен, выступающий в ответственных соревнованиях с радиотелеметрической системой, не может показать своего лучшего результата, а исследование функционального состояния и установление рекордов — несовместимые вещи. Эта точка зрения в корне неверна. Современная радиотелеметрическая аппаратура не создает дискомфорта, чаще всего спортсмен просто забывает о ней. Известны случаи, когда спортсмен выигрывал ответственные соревнования, неся на себе радиотелеметрическую систему. Так, на первенстве страны 1969 года по скоростному бегу на коньках на высокогорном катке Медео 6-ти кратная олимпийская чемпионка Лидия Скобликова победила на дистанции 3000 м, неся на себе радиотелеметрическую систему. Частота пульса у чемпионки на финише достигла 230 ударов в минуту.

III. Перспективы развития спортивной телеметрии

Спортивная телеметрия заимствует все новое, что появляется в современной телеметрической технике, как в плане создания принципиально новых способов передачи информации, так и в плане совершенствования телеметрической аппаратуры.

В литературе появились первые сообщения о радиотелеметрических системах, весящих 20—30 граммов и размещаемых непосредственно на электромиографическом или электрокардиографическом электроде. Интегральные схемы, применяемые схемы, схемы пленочной электроники, казавшиеся еще вчера научной фантастикой, сегодня настойчиво стучатся в дверь тренера и его питомцев.

В последние годы стала возможной регистрация показателей жизнедеятельности у человека, свободно плавающего под водой. Совсем недавно такая задача казалась практически неосуществимой. Дело в том, что радиоволны в воде способны распространяться всего на несколько десятков метров. Свет также быстро затухает в воде: даже лучи мощного лазера, работающего в сине-зеленой части спектра, могут проникать в воду лишь на несколько сотен метров. Наиболее эффективным переносчиком информации в воде является звук. Звуковые волны различной частоты (от инфразвуковых до ультразвуковых) могут распространяться в воде на деся-

ки, а при благоприятных условиях на сотни и тысячи километров. Ультразвуковыми сигналами обмениваются между собой дельфины. С помощью ультразвука подводные лодки ориентируются в воде и связываются между собой. В настоящее время возникло целое научное направление, решающее вопросы распространения звуковых колебаний в воде — гидроакустика (Л. V—5, 11). И подобно тому, как в рамках радиотелеметрии сформировалась спортивная радиотелеметрия, в рамках гидроакустики формируется спортивная гидроакустика. В литературе появляются сообщения о дистанционной записи электрокардиограммы у рыб, водолазов, спортсменов-аквалангистов (см. обзор в Л. II—42). Что же касается гидроакустической техники, то состав и структура гидротелеметрической системы ничем существенным не отличаются от состава и структуры радиотелеметрической системы. Различие состоит лишь в том, что для передачи сигналов в воде вместо радиопередатчика и радиоприемника используются гидроизлучатель и приемник механических колебаний ультразвукового диапазона частот.

* * *

Таким образом, современная спортивная телеметрия в состоянии успешно решить задачи контроля за спортсменами во всех без исключения видах спорта. Но главные успехи у спортивной телеметрии еще впереди. Залог этих успехов — в достижениях современной радиоэлектроники, твердо взявшей курс на микроминиатюризацию электронной аппаратуры.

Глава VI. РЕГИСТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для того, чтобы результатом измерения можно было воспользоваться, он должен быть представлен показаниями стрелок или индикаторных лампочек (визуальная индикация) либо в форме графика (графическая регистрация). Иногда применяется слуховая индикация: результат измерения преобразуется в звук определенной громкости и тона.

От качества самописцев и индикаторов во многом зависит успех научного исследования, ибо, по словам английского астронома Артура Эддингтона «весь материал точной науки состоит из показаний стрелок». Низкая точность или ненадежность регистрирующего устройства может перечеркнуть все достоинства датчиков, усилителей, телеметрической аппаратуры и метода исследования в целом точно так же, как неспособность форварда точно нанести завершающий удар сводит на нет усилия всей команды.

Острая нужда в высококачественных устройствах для регистрации результатов измерения вызвала к жизни множество

Технические характеристики многоканальных радиотелеметрических систем

Авторы	Год публикации	Регистрируемые переменные	Технические характеристики									
			Числа каналов	Полоса пропускания	Вид улктнс-ция	Несущая частота	Дальность действия	Динамический диапазон	Время работы с одним источником питания	Вес передающего устройства	Возможность записи группового сигнала на звуковой одноподорожечный магнитофон	Полоса пропускания радио канала
				гц		мггц	км					дб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fischler с соавт.	1967	ЭЭГ	6	0 ÷ 500	чм-чм	27,00	0,04	46				
Zweizing с	1967		4	0,5 ÷ 1000	чм-ам	90,00		60	24	0,145		
Т. Д. Вайс с соавт.	1968	система широкого применения	8	0 ÷ 1000	чм-чм	150	0,3	40	6	0,35	отсутствует	
Р. В. Унжин	1968	»	3	0,3 ÷ 100	чм-чм	63 ÷ 73	0,1		50	1,5	имеется	20
В. Л. Уткин	1968	поликардиограмма	4	0 ÷ 100	шим-ам	28,00	0,15	32	10	0,6	имеется	40
Murran с соавт.	1968	ЭКГ, t° тела, P ₀₂ , O ₂	6	0,1 ÷ 40	шим-чм		0,8		30	0,73	имеется	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
В. С. Келлер с соавт.	1969	ЭКГ, ЭМГ, частота ды- хания, ЧСС, t° тела	4	0,1 ÷ 600	чм-чм	81,36	0,2	30	2	0,2 (без источни- ков питания)		140 (деви- ация)
Elpel, Foy	1970	система ши- рокого при- менения	6		чм-чм	250	0,4			0,38		
Skutt с соавт.	1970	ЭКГ, частота дыхания, легочная вентиляция	4	0 ÷ 100	шим-чм	88—108	0,1	34	125	0,1		

различных способов зрительного и слухового контроля и записи результатов измерений. Наиболее распространенные и перспективные из них составили содержание рисунка 34. Настоящая глава делится на три части: первая и вторая посвящены регистрации и индикации электрических сигналов, третья — регистрация изображения.

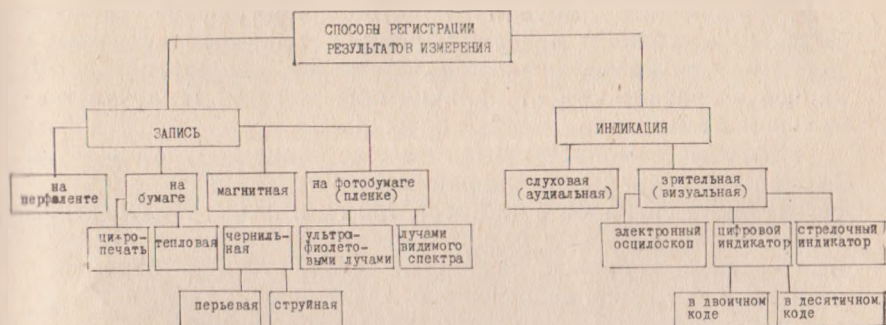


Рис. 34. Разновидности способов регистрации результатов измерений.

1. РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Существуют две основные формы записи электрических величин: аналоговая (непрерывная) — в виде графика и цифровая — в виде цифр на ленте цифропечатающего устройства либо в виде комбинаций отверстий, пробиваемых на перфокарте или перфоленте. Вначале рассмотрим разновидности аналоговой записи.

Перьевая запись

Наиболее просто проблема графической регистрации решается в самописцах с чернильной записью.носителем записи здесь служит протягиваемая с постоянной скоростью бумажная лента с нанесенной на ней масштабной сеткой. Регистрируемый электрический сигнал преобразуется в отклонения пера, перпендикулярные движению бумаги.

Устройство перьевых самописцев с чернильной записью мало чем отличается от устройства самописцев с «тепловой» записью. Тепловая запись ведется нагретым стальным пером на специальной двуслойной бумаге. Верхний слой бумаги — светлого тона и покрыт масштабной сеткой. Он изготовлен из легкоплавкого материала и плавится при прикосновении раскаленного пера, обнажая темный нижний слой. В результате на

движущейся термочувствительной бумаге остается темная линия, повторяющая все колебания пера.

Перьевые самописцы удобны в эксплуатации и обеспечивают легко читаемую запись, не требующую дополнительной обработки. Чернильными перьями оснащены почти все отечественные электрокардиографы и электроэнцефаллографы и большинство самописцев, предназначенных для записи относительно медленных процессов. Некоторые самописцы (например, последние модели электрокардиографов системы ЭЛКАР) снабжены и чернильными, и тепловыми съёмными перьями, что позволяет использовать тот или другой способ записи в зависимости от наличия обычной или термочувствительной бумаги.

Перьевые самописцы были бы еще более популярны, если бы не их инерционность, приводящая к большим ошибкам при регистрации сигналов с частотой 100 гц и выше. Недостатком большинства перьевых самописцев являются также нелинейные искажения записи, связанные с тем, что перо перемещается не строго перпендикулярно движению бумаги, а по дуге, радиус которой примерно равен длине пера.

Струйная запись

От основных недостатков перьевых самописцев свободны регистрирующие устройства со струйной записью. Самописцы со струйной записью позволяют без искажения записывать фонокардиограмму, электромиограмму и другие процессы, частотный спектр которых не выходит за пределы 1000 гц. Струйная запись используется как в отечественной аппаратуре, так и в приборах крупнейших зарубежных фирм (Eleta, Швеция; Siemens, ФРГ и др.).

Важнейшей деталью струйного самописца является гальванометр, смонтированный на вертикальной оси и поворачивающийся вокруг нее на угол, пропорциональный величине регистрируемого электрического сигнала. Гальванометр имеет в передней вертикальной стенке капиллярное отверстие, через которое под большим давлением выбрасывается тонкая струя чернил. Принцип действия предопределяет и основной недостаток струйной записи: капиллярное отверстие часто засоряется даже при использовании специальных, тонко отфильтрованных чернил.

Фотозапись

Свои преимущества и недостатки имеют и получившие очень широкое распространение самописцы с фотозаписью, или «шлейфные» осциллографы. Гальванометр такого само-

писца («шлейф») устроен подобно гальванометру струйного самописца, но вместо чернильной «помпы» и отверстия для выбрасывания чернил он несет на себе миниатюрное зеркальце, отбрасывающее световой луч на движущуюся фотобумагу или фотопленку. Конечно же, масса зеркала меньше массы струйного гальванометра, и инерция светового луча меньше инерции чернильной струи. В результате быстродействие «шлейфного осциллографа» значительно выше быстродействия струйного самописца. Фотозапись позволяет регистрировать процессы, частотный спектр которых простирается до 5000—10 000 гц, что вполне достаточно для биологических измерений в спорте.

Выгодно отличаясь от струйных самописцев повышенным быстродействием, фоторегистраторы в полной мере обладают такими их достоинствами, как линейность записи и возможность записывать каждый из исследуемых процессов на всей ширине диаграммной бумаги (до 120-ти мм против 30-ти мм при перьевой записи).

Но, по словам Лиса из «Маленького принца» Антуана де Сент Экзюпери, «...нет в мире совершенства». Серьезнейший недостаток шлейфного осциллографа состоит в том, что фотозапись — это «запись-невидимка», и видимой она становится лишь в результате трудоемкой операции проявления фотобумаги или пленки. И дело даже не столько в непроизводительной затрате труда, сколько в тех неудобствах, которые создает отсутствие видимой записи, равносильное отсутствию срочной информации об изучаемых процессах. Несмотря на указанный недостаток, самописцы с фотозаписью широко используются как в виде самостоятельных приборов, так и в составе электрокардиографов, электромиографов и т. д.

Запись ультрафиолетовыми лучами

Попытки усовершенствовать технику фотозаписи привели к созданию бумаги, чувствительной к ультрафиолетовым лучам и не реагирующей на лучи видимой части спектра. В момент облучения ультрафиолетовым лучем такая бумага чернеет и не требует последующей фотохимической обработки. Казалось бы, цель достигнута и получен самописец, сочетающий все достоинства идеального регистрирующего прибора? Нет, к сожалению «ультрафиолетовая» бумага имеет свой недостаток — низкую чувствительность, и это обстоятельство не позволяет записывать на ней высокочастотные, быстро меняющиеся сигналы. Но, несмотря на это, самописцы с ультрафиолетовой записью успешно применяются для спортивных измерений.

Магнитная запись

Магнитная запись электрических сигналов возможна благодаря способности так называемых ферромагнитных материалов намагничиваться в электрическом поле и длительно сохранять намагниченное состояние. Интересующая нас информация преобразуется в электрические сигналы и затем «записывается» на магнитном носителе информации. В качестве носителя информации чаще всего используется магнитная лента, хотя возможна запись и на магнитную проволоку, магнитный диск и т. д. Магнитная лента изготавливается путем нанесения слоя ферромагнитного порошка на гибкую и очень тонкую немагнитную основу*. Запись информации на магнитную ленту и многократное воспроизведение записанной информации осуществляется с помощью магнитофона.

Всем известные «бытовые» магнитофоны позволяют записывать сигналы звукового диапазона частот (от 20 гц до 20 кгц). Но очень многие сигналы биологического происхождения лежат в области инфразвуковых (инфранизких) частот — от 0 гц до 20 гц. Запись на магнитофон таких сигналов возможна с помощью специальных преобразователей, которые при записи переносят спектр инфразвукового сигнала в область звуковых частот, а при воспроизведении возвращают его обратно. В результате на магнитную ленту записывается модулированный сигнал, т. е. синусоидальный или импульсный сигнал, один из показателей которого (амплитуда, частота, длительность импульсов и т. д.) изменяется пропорционально величине инфразвукового сигнала.

Из выпускаемых нашей промышленностью преобразователей такого рода упомянем «Модулятор» — приставку к стандартным магнитофонам, а также выпускаемые рядом зарубежных фирм многоканальные широкополосные магнитофоны — «магнитографы».

Запись в цифровой форме

Результаты всякого измерения должны быть наглядны и точны. Рассмотренные выше средства графической регистрации вполне обеспечивают выполнение первого из этих требований. Но точность их невелика. Относительная приведенная погрешность самописцев со струйной и фотозаписью лежит

* Магнитная лента изобретена в 1928 году, когда немецкий ученый Пфлеумер впервые нанес ферромагнитный порошок на ленту из бумаги, а затем на пластмассовую ленту. В настоящее время в качестве ферромагнитного порошка чаще всего используют окись железа (Fe_2O_3), а в качестве немагнитной основы — ленту из ацетилцеллюлозы или поливинилхлорида (Л. VI—9).

в пределах 5—10%, а в перьевых самописцах бывает и еще выше. Снизить погрешность до 1—3% при аналоговой записи удалось лишь в отдельных, достаточно сложных приборах.

Существенно повысить точность позволяет замена аналоговых регистрирующих устройств цифровыми. При цифровой записи регистрирующее устройство практически не вносит ошибки в результат измерения. Но повышение точности достигается ценой значительного усложнения и удорожания регистрирующей аппаратуры: поступающий сигнал должен быть преобразован в цифровую форму, а для этого приходится включать в состав измерительной системы сложный электронный прибор — аналого-цифровой преобразователь.

Из цифровых самописцев более всего распространены цифропечатающие устройства и перфораторы. Цифропечатающее устройство является разновидностью пишущей машинки с электрическим управлением: результат измерения при цифропечати представляется в виде последовательности цифр. Современные быстродействующие цифропечатающие устройства позволяют печатать несколько тысяч знаков в секунду.

Перфораторы предназначены для записи информации путем пробивания отверстий («перфораций») на перфокартах и перфолентах. Наиболее совершенные перфораторы разработаны в вычислительной технике, где они служат выходными устройствами цифровых вычислительных машин (Л. V—14).

Современные комплексы регистрирующей аппаратуры

Из всего сказанного о способах записи электрических сигналов видно, что на сегодняшний день нет универсального регистрирующего прибора, который был бы и точен, и дешев, и удобен в эксплуатации. Всем реально существующим самописцам присущи наряду с достоинствами те или иные недостатки. Если бы оказалось возможным одну и ту же величину регистрировать одновременно двумя или тремя самописцами, то достоинства одних приборов могли бы компенсировать недостатки других. Эта идея — идея комплексирования регистрирующих приборов уже используется на практике. Состав комплекса регистрирующей аппаратуры может меняться в зависимости от стоящих перед исследователем задач и от его возможностей. Но чаще всего в состав регистрирующего комплекса включают магнитограф, самописец с чернильной, тепловой или фотозаписью и электронный осциллоскоп.

II. ИНДИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Различая регистрацию и индикацию, в измерительной технике называют регистрацией такой способ фиксации данных, в результате которого остается документ, запись результата измерения (график на бумаге, магнитная запись, перфокарта, фотография). В соответствии с этим, записывающий прибор («самописец») — это прибор для записи значений измеряемых переменных. Индикация же состоит в восприятии получаемой информации зрительно, на слух или любым другим способом. А приборы, делающие такое восприятие возможным, называются индикаторами, или «показывающими» устройствами.

Стрелочные индикаторы

Самый простой способ индикации результатов измерения — стрелочная индикация. Стрелочные индикаторы широко распространены: часы, барометр, спидометр автомобиля и гребной лодки — лаборатории оснащены стрелочными индикаторами. Особой популярностью стрелочные индикаторы пользуются в электро- и радиоизмерительной технике.

Всякий стрелочный индикатор включает в себя измерительную шкалу, подвижный указатель результата («стрелку») и механизм, управляющий положением стрелки. На управляющий механизм подается измеряемый электрический сигнал. Чем больше измеряемая величина, тем больше электрический сигнал и тем дальше отклоняется стрелка.

Цифровые индикаторы

Цифровые индикаторы несут информацию о результате измерений в наиболее удобной форме — в виде цифр. Особую пользу цифровые индикаторы приносят там, где необходимы высокая точность измерения и быстрота считывания результата. Специальные исследования показывают, что при использовании цифрового индикатора человек делает в 20—60 раз меньше ошибок, чем при считывании показаний стрелочного прибора (Л. VI—6).

Цифровые индикаторы многообразны и различаются прежде всего символикой — то есть способом представления информации. Простейший способ представления цифровой информации связан с единичной системой счисления, в которой значение измеряемой величины определяется числом повторений какого-нибудь условного знака (черточки, точки) — рис. 35 А. Единичная система счисления не получила широкого распространения. Гораздо чаще применяются двоичная и десятичная системы счисления, где цена обозначающего цифру символа зависит от разряда, в котором этот символ находится. В дво-

ичной системе цена единицы n -го разряда равна 2^{n-1} , где n — число разрядов. На рис. 35 Б в двоичной системе счисления («воичном коде») записано число 13.

Наиболее привычна и потому наиболее удобна десятичная система счисления, где в первом разряде записываются единицы, во втором — десятки, в третьем сотни и т. д. В десятичной системе счисления разряд называется декадой. Десятичная форма индикации имеет две разновидности: цифровую десятичную (рис. 35 Д) и позиционную десятичную. При по-

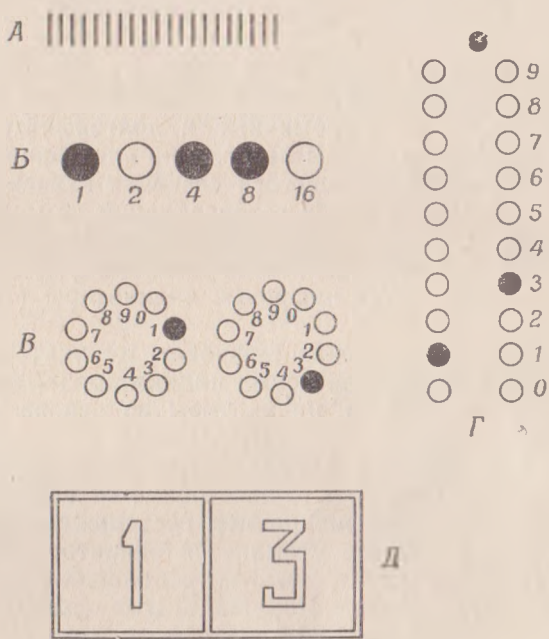


Рис. 35. Символика цифровой индикации (пояснения в тексте).

зиционно-десятичной индикации каждая цифра декады обозначается светящейся точкой в определенном месте круговой (рис. 35 В) или линейной (рис. 35 Г) индикаторной шкалы.

Наибольший комфорт обеспечивает цифровая десятичная индикация результатов измерения. Различают четыре группы способов воспроизведения светящихся цифр:

1) цифру «рисует» светящаяся точка, которая успевает обехать контур цифры быстрее, чем за 0,05 секунды, так что благодаря инерционности зрения у человека создается впечатление сплошной светящейся цифры;

2) цифра набирается из отдельных светящихся точек на специальном табло;

3) цифра составляется из отдельных светящихся полосок;

4) цифра появляется на экране в виде заранее заготовленной светящейся фигуры.

Несколько слов о технике цифровой индикации. Из индикаторных приборов наиболее широко применяются лампы накаливания и газоразрядные лампы.

Принцип действия ламп накаливания заключается в свечении вольфрамовой проволоки при протекании по ней электрического тока. Лампы накаливания находят применение в двоичных и позиционно-десятичных системах индикации, а также в цифровых десятичных индикаторах, использующих мозаику из отдельных светящихся точек. Лампы накаливания неэкономичны, потребляют много энергии.

Значительно более экономичные и долговечные газоразрядные индикаторы основаны на явлении электрического разряда в газе. Цвет образующегося свечения зависит от того, каким газом наполнена колба газоразрядной лампы. Явление электрического разряда в газе позволило сконструировать декартроны (позиционные десятичные индикаторы с круговой шкалой) и газоразрядные цифровые индикаторы (типа ИН-1 и др.).

В последние годы арсенал цифровых индикаторов значительно пополнился. В числе новых индикаторов — электролюминисцентные, светодиоды, индикаторы на основе так называемых жидких кристаллов (Л. VI—11).

Пользуясь цифровой индикацией, важно правильно выбрать «дистанцию обзора», т. е. расстояние от глаз оператора до индикатора. Чем меньше размер светящейся цифры, тем чаще ошибается и больше утомляется оператор. Увеличение размеров цифры позволяет снизить требования к освещению и цвету фона. Но, с другой стороны, опыты психологов показывают, что при чрезмерном увеличении размеров цифры возрастает время считывания информации. Таблица 15 содер-

Таблица 15

Высота цифр индикатора и рекомендуемая дистанция обзора
(по С. С. Бруфману, 1974)

Высота цифры	мм	5	10	15	20	25	30	35	40
Дистанция обзора	от (м) до (м)	0,5 1,0	1,0 2,0	1,5 3,0	2,0 4,0	2,6 5,0	3,5 6,0	4,2 7,0	5,0 8,0

жит рекомендации по выбору оптимальной дистанции обзора в зависимости от размера цифры.

III. РЕГИСТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Спортивные соревнования — увлекательное зрелище. В таких видах спорта, как гимнастика, художественная гимнастика, фигурное катание успех спортсмена прямо зависит от красоты и выразительности его движений. В других видах спорта внешняя картина движений («кинематика движений») имеет хотя и второстепенное, но тоже очень важное значение, поскольку от нее зависят сила, быстрота и точность движений. Внешнюю картину движений легче всего зарегистрировать фотоаппаратом или киноаппаратом, и не случайно поэтому оптические методы регистрации движений (киносъемка и фотография) на протяжении почти ста лет успешно конкурируют с механоэлектрическими методами. Оптические, а в последние годы и телевизионные методы (телециклография и видеоманитная запись изображения) позволяют изучать кинематику движений спортсмена дистанционно и бесконтактно, не вмешиваясь в естественный ход тренировки или соревнования.

Из истории оптических измерений

7 января 1839 года на заседании французской Академии наук Франсуа Араго сделал сообщение об открытии фотографии («светописи») — нового способа запечатлевания изображения с помощью лучей света. Честь открытия фотографии принадлежит двум французам — художнику Л. Ж. Дагеру и химику Ж. Н. Ньепсу. В 1872 году американский коннозаводчик Э. Майбридж осуществил фотосъемку бега лошади 12-ю фотоаппаратами, размещенными вдоль беговой дорожки. К затворам фотоаппаратов были привязаны нити, которые бегущая лошадь задевала грудью и таким образом сама себя фотографировала. А в 1895 году в Париже братья О. и Л. Люмьер впервые продемонстрировали несколько коротких кинолент — родился кинематограф.

Поначалу фотография и киносъемка почти не использовались в научных целях. Первые фотопластинки не допускали моментальных снимков, требуя большой выдержки. Несовершенной была и аппаратура для фото и киносъемки. Но, несмотря на это, ученые прошлого и в первую очередь. Вильгельм Брауне, Отто Фишер и Э. Ж. Марей уже в конце прошлого века выдвинули и практически проверили основные принципы современных оптических методов исследования движений.

В восьмидесятых годах прошлого века выдающийся французский ученый Этьен Жюль Марей установил перед объективом фотоаппарата вращающийся диск с вырезами — обтю-

ратор. С помощью obtюратора удается зафиксировать на одной фотопластине несколько поз человека, выполняющего какое-либо движение. Такой способ фотографирования получил название хронофото съемки (рис. 36). Другое нововведение Э. Ж. Маррея, названное впоследствии Н. А. Бернштейном цикло съемкой, состояло в том, что испытуемый одевался в темный костюм со светлыми галунами, нашитыми на наружной поверхности рук и ног (как на современных тренировочных костюмах). В результате на фотопленке фиксировалось схематическое изображение тех частей тела, которые интересовали исследователя.

В классической работе Брауне и Фишера (1898—1903) (цит. по Н. А. Бернштейну, 1935) ходьба человека регистрировалась четырьмя фотографическими камерами, расположенными под разными углами к линии ходьбы. На голове, вдоль рук и ног испытуемого укреплялись стеклянные трубки, наполненные жидким азотом, илучавшие прерывистое (26 вспы-

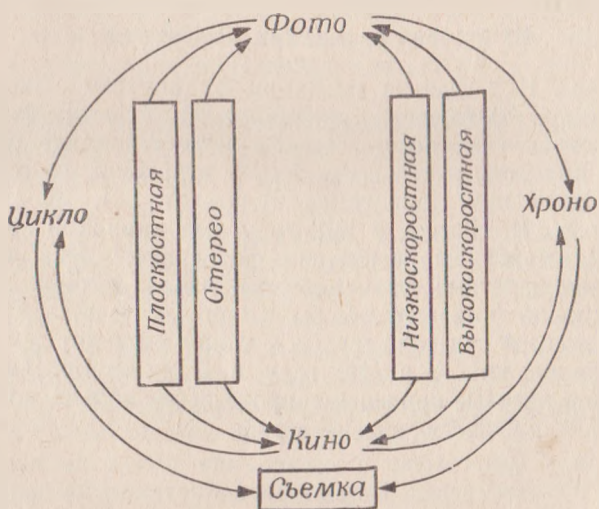


Рис. 36. Разновидности способов кино-фото-измерений (пояснения в тексте).

шек в секунду) свечение при подключении к ним электрического напряжения от катушки Румкофа. Процесс одевания испытуемого длился 6—8 часов, после чего 3—4 шага фиксировались на негатив размером 18×24 см. Обработка негатива осуществлялась на специальном координатометре, состоявшем из рамки для негатива, микрометрических салазок и микроскопа и обеспечивавшем точность считывания координат час-

тей тела до 0,001 мм. Полученные данные обрабатывались на механическом вычислителе и дали миру 6 томов сочинений о биомеханике ходьбы человека.

Новый скачок в развитии методов кино-фотоизмерений приходится на 20-е годы текущего столетия и связан он, во-первых, с работами по биомеханике Н. А. Бернштейна и его сотрудника, а во-вторых — с развитием фототопографии и аэрофотосъемки (А. Н. Лобанов, 1968; А. С. Скиридов, 1959 и др.).

Разновидности способов оптических измерений

Многообразие способов оптических измерений наглядно иллюстрирует рис. 36. Из слов, написанных на рисунке, могут быть составлены названия большинства известных на сегодняшний день способов регистрации изображения. Например, **высокоскоростная стерео-кино-хроносъемка** — это такой вид кино-съемки, когда на киноленту фиксируется целостное изображение спортсмена или спортивного снаряда («хроно»), съемка ведется двумя или несколькими кинокамерами («стерео») с повышенной частотой кадров («высокоскоростная»). Или: **низкоскоростная плоскостная кино-цикло-съемка** — это съемка одним киноаппаратом с обычной частотой кадров светящихся лампочек или других маркерных меток, укрепленных на суставах спортсмена или в определенных точках спортивного снаряда. Рассказ о разновидностях измерительной кино- и фотосъемки начнем с работ Н. А. Бернштейна и его помощников, заменивших серебряные галуны Марeya и светящиеся трубки Брауне и Фишера электрическими лампочками, фиксируемыми над суставами спортсмена. При этом на фотопластинке фиксируется последовательность светящихся точек — циклограмма. Соединив точки, относящиеся к какому-либо суставу, получим траекторию этого сустава.

Трудность разделения точек циклограммы при медленно протекающих движениях была преодолена с помощью предложенного Н. А. Бернштейном метода **кимоциклографии**. При кимоциклографической съемке фотопластинка медленно перемещается относительно объектива, так что световой след неподвижного сустава уже не сольется в одно неразделимое пятно, а вытянется в прямую линию. Метод движущейся фотопластинки применяется и в хронографии, когда фотографируется не движение светящихся точек, а целостное изображение спортсмена.

Н. А. Бернштейн и многие другие исследователи (Л. VI—3, 28) изучали «плоские движения» — ходьбу, бег, прыжки в длину и т. п. Съемка плоских движений должна производиться длиннофокусным объективом с большого расстояния, что

приводит к искажениям, связанным с ограниченной разрешающей способностью объектива и фотоэмульсии. Кроме того, при плоскостной съемке не регистрируется третья координата — «в глубину». Но человек крайне редко совершает движения, протекающие только в одной плоскости. Даже при беге перемещение стопы в направлении, перпендикулярном направлению бега, достигает, по данным В. В. Тюпы, двадцати сантиметров.

Для регистрации движений человека в трехмерном пространстве, т. е. для стереосъемки требуется не менее двух камер и предложено несколько способов их размещения относительно объекта съемки. Наиболее распространенные из них — «нормальная стереосъемка» двумя камерами, закрепленными на одной жесткой базисной подставке так, чтобы их оптические оси были параллельны друг другу и перпендикулярны базису и «двусторонняя стереосъемка» двумя камерами, оптические оси которых взаимно-перпендикулярны. Определение действительных координат движущегося объекта осуществляется по достаточно сложным формулам, которые заинтересованный читатель найдет в литературе (Л. VI—5, 16, 20, 21).

Позволяя определить пространственное положение тела спортсмена или спортивного снаряда по его изображению, стереосъемка может обеспечить более высокую точность измерений, нежели плоскостная съемка. Но использовать потенциальные возможности стереосъемки в полной мере удастся лишь тем, кто преодолет целый ряд трудностей методического порядка. И первый вопрос, на который должен ответить исследователь,— это вопрос выбора типа съемочной аппаратуры.

Съемочная аппаратура делится на кинокамеры и фотокамеры. Преимущества кинокамеры состоят в возможности съемки в естественных условиях тренировок и соревнований и в практически неограниченной скорости съемки. Так, специальные сверхскоростные кинокамеры дают возможность снимать быстропротекающие процессы с частотой до 10 000 000 кадров в секунду. При изучении спортивных движений и, в частности, ударных действий применяются скорости съемки до 5000 кадров в секунду. Полученные при скоростной съемке киноматериалы чаще всего пресецируются на экран в замедленном, доступном для зрительного восприятия виде и лишь в 10% случаев (Л. VI—19) подвергаются количественной обработке.

Основной недостаток киносъемки — низкая точность измерений вследствие малого масштаба снимка на кинокадре, а также вследствие того, что киноплёнка в момент экспозиции не имеет строго фиксированного положения относительно объектива кинокамеры. Кроме того, у большинства любителей

ских кинокамер скорость протяжки ленты столь непостоянна, что колебания частоты кадров могут достигать $\pm 15\%$. Но и специальные кинокамеры не позволяют измерить координаты движущегося объекта с точностью выше 1% , а скорость движения — $5 \div 10\%$. Чтобы добиться такой точности, нужно свести к минимуму нестабильность частоты кадров, нерезкость от движения объекта за время экспозиции, неидеальность объектива кинокамеры и т. д.

Выбор кинокамеры и условий съемки требует специальных расчетов. Так, задавшись величиной нерезкости (С) и зная фокусное расстояние объектива камеры (F) и отношение времени экспонирования ко времени смены кадров (k), можно, исходя из максимальной ожидаемой скорости движения объекта съемки (V), выбрать расстояние от объекта до объектива (E) и частоту кадров (f) по формуле (Л. VI—15):

$$f = \frac{VFk}{CE}$$

Например, для $C=0,05$ мм, $E=10$ м и кинокамеры СКС-IM-16 уравнение, связывающее частоту кадров со скоростью движения исследуемого объекта, выглядит следующим образом (Л. VI—1):

$$f \text{ (кад/с)} = 20V \text{ (м/с)}$$

Измерительная фотосъемка также имеет свои недостатки: необходимость маркировать тело спортсмена источниками света и ограниченная быстродействием фотоаппарата частота съемки. Но эти недостатки окупаются возможностью достичь точности, на порядок превышающей точность измерений при киносъемке. Высокая точность фотографических измерений достигается тем, что все движение фиксируется в одной и той же системе координат на один и тот же снимок, размер которого может достигать 13×18 см и даже 18×24 см. Именно поэтому измерительная стереофотография, или стереофотограмметрия легла в основу современных методов измерения в геодезии, топографии и картографии (Л. VI—8, 16, 20, 21).

При изучении спортивных движений получает распространение стереофотограмметрическая циклосъемка, когда стереокамерой регистрируют траектории миниатюрных светящихся лампочек (диаметром не более 1 мм) на суставах спортсмена (Л. VI—26). Используя повышенную разрешающую способность стереозрения, которая в 5—6 раз выше, чем у плоскостного, «монокулярного» зрения (Л. VI—20), удается определить координаты светящихся точек на стереоснимках с точностью до 0,005 мм.

Достижение столь высокой точности измерения возможно при выполнении специальных требований к стереофотоаппаратуре, к обтюратору или другому стробоскопическому устройству* и к условиям съемки. Ввиду высоких скоростей изучаемых в спорте движений (до 30 м/с и выше) величина экспозиции должна составлять около 10^{-4} с. Стереокамера должна иметь светосильные объективы и высокую разрешающую способность (не менее 30 лин./мм), а фотопластинки — чувствительность порядка 130—250 ед. ГОСТ. Примерами стереофотограмметрических камер могут служить стереокамеры СКИ-8 конструкции И. Б. Индиченко и стереокамера УМК-10/1318 производства фирмы «Карл Цейс» (Йена, ГДР).

Необходимым условием стереосъемки является нахождение исследуемого спортсмена в поле зрения двух камер — в зоне «стереоскопического пространства». О том, как выполнить это условие и вообще о том, как на практике достичь потенциальной точности стереофотограмметрической регистрации, можно прочесть в специальной литературе (Л. VI--I и др.).

Методы обработки фотоснимков и кинограмм

Обработка фотоснимков и кинограмм — трудоемкий процесс, цель которого чаще всего состоит не только в определении действительных координат частей тела спортсмена и их траекторий, но и в измерении их скоростей и ускорений. Зная частоту вспышки лампочек f ($1/c$) (а при непрерывном свечении лампочек — частоту вращения обтюратора, в случае же киносъемки — частоту кадров), можно вычислить горизонтальную V_x (м/с) и вертикальную V_y (м/с) скорость сустава по формулам:

$$V_x = \Delta S_x \cdot f = \frac{\Delta S_x}{\Delta t}$$

$$V_y = \Delta S_y \cdot f = \frac{\Delta S_y}{\Delta t}$$

где ΔS_x (м) — перемещение сустава по горизонтали за время Δt (с) между двумя соседними точками циклограммы, ΔS_y (м) — перемещение сустава по вертикали за то же время.

* Вращающийся перед объективом диск с прорезями — обтюратор часто заменяют периодически вспышками лампочками (Braun und Fischer, 1891) или устройством, периодически открывающим затвор камеры. Во всех названных случаях создается так называемый стробоскопический эффект, состоящий в периодическом прерывании светового потока, идущего от снимаемого объекта на фотопластинку.

Величина вектора скорости и его направление вычисляются по известным из геометрии формулам $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ и $\alpha = \arctg \frac{V_y}{V_x}$, где α — угол между вектором скорости и горизонтальной плоскостью.

Сходным образом вычисляется вертикальная a_y (м/с²) и горизонтальная a_x (м/с²) * составляющие ускорения сустава и вектор ускорения (a , α):

$$a_x = \Delta V_x \cdot f = \frac{\Delta V_x}{\Delta t}$$

$$a_y = \Delta V_y \cdot f = \frac{\Delta V_y}{\Delta t}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

$$\alpha = \arctg \frac{a_y}{a_x}$$

Более подробно познакомиться с практикой безмашинного вычисления скоростей и ускорений по кинограммам можно в учебнике по биомеханике (Л. I—5). Отметим, что, строго говоря, обеспечиваемая кинокамерой точность не позволяет вычислять ускорение. Точное измерение ускорений возможно лишь на основе стереофотограмметрической регистрации движений, причем стереофотограммы предпочтительно обрабатывать не вручную, а с помощью специального полуавтоматического измерительного прибора — стереокомпаратора.

Стереокомпаратором называется высокоточный прибор, предназначенный для измерения координат точек стереоскопической пары фотоснимков. Первые стереокомпараторы были созданы для нужд геодезии и топографии (Л. VI—20, 21). В числе многих известных стереокомпараторов отметим изготовленный в г. Йена (ГДР) фирмой «Карл Цейс» стереокомпаратор «Стекометр» с автоматическим регистрирующим устройством. «Стекометр» состоит из устройства считывания координат, пульта управления и печатающего автомата и позволяет определить координаты точек с точностью не ниже 0,01%.

Полученная при стереофотосъемке пара снимков фиксируется на измерительном столе стереокомпаратора. Затем на центр каждой точки зарегистрированной траектории с помощью ручных штурвалов наводится измерительная марка. После каждого наведения марки печатающее устройство регистрирует координаты точки на перфоленте и на автоматиче-

* В скобках указаны единицы измерения входящих в формулы величин: например, V_x (м/с) означает, что горизонтальная скорость измеряется в метрах за секунду — см. главу I.

ской печатающей машинке. Регистрация координат одной точки занимает 6—10 секунд.

* * *

Уже не впервые мы рассказываем о регистрирующем устройстве, объединенном с вычислительным устройством для автоматической обработки получаемых данных. Вспомните систему «Selspot», радиоизотопную установку для измерения масс частей тела (гл. IV), радиотелеметрическую систему

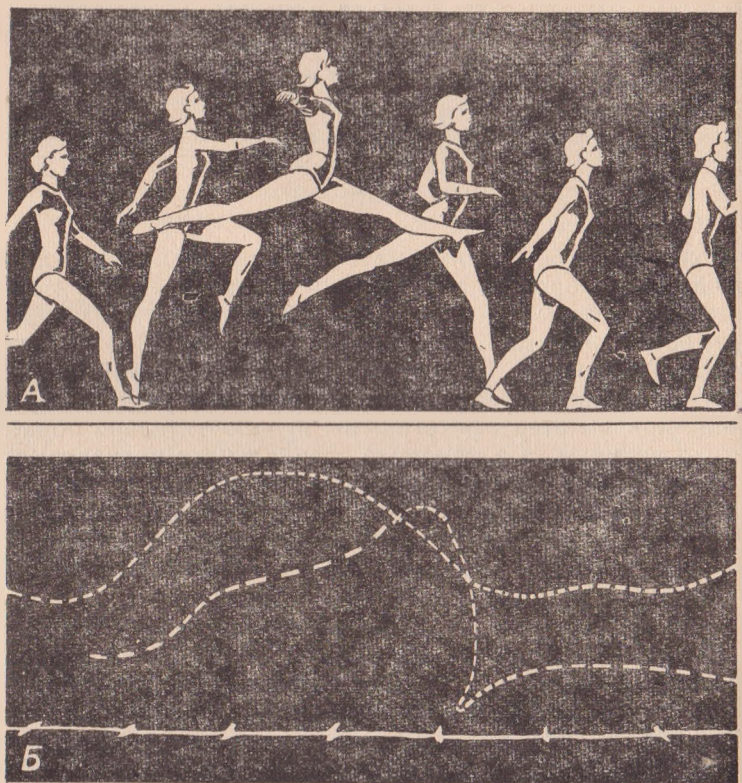


Рис. 37. Хронофотограмма («стробогамма») — «А» и циклограмма — «Б» прыжка гимнастики; источники света закреплены на тазобедренном суставе правой ноги и голеностопном суставе левой ноги (по Gutewort, 1968).

«Спорт» (гл. V) и, наконец, «Stekometer», работающий в комплексе с вычислительной машиной для расчета биомеханических характеристик движений. Стремясь сэкономить вре-

мя и силы, ученые, тренеры и спортсмены все чаще используют в своей работе вычислительную технику, рассказу о которой посвящена следующая глава книги.

Глава VII. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В СПОРТЕ

«Предок человека стал человеком тогда, когда он вооружился орудием труда. Палка, камень, копье, лук со стрелой — все это удлинняло руку человека... и, смастерив вначале примитивные, а затем все более совершенные средства передвижения, человек «достроил» свои ноги... и начал расширять свою среду обитания. А это потребовало получения такой информации, которая не нужна обезьяне. И человек стал «достраивать», улучшать свои органы чувств. Появились очки, бинокли, подзорные трубы, а в дальнейшем телескопы, микроскопы, радио и телевидение, компас и т. д. Совершенствуя в течение тысячелетий свои рабочие органы и органы чувств, человек до середины XX века сохранял за своим естественным органом — мозгом функцию промежуточного звена между ними. Мозг собирает информацию от «усиленных» органов чувств и посылает приказы «усиленным» рабочим органам. Но при современном уровне развития науки и техники умственная нагрузка человека... стала огромной, а подчас изнурительной и непосильной. Дальнейшее развитие человечества потребовало «достройки» естественной системы управления — человеческого мозга как много веков назад оно потребовало «достройки» исполнительных органов и органов чувств. Из этой потребности и родилась наука об управлении — кибернетика, а вместе с нею и электронно-вычислительная техника как способ практического претворения в жизнь кибернетических идей», — так профессор И. М. Фейгенберг (Л. VII—32) рассказывает о появлении электронно-вычислительных машин* как закономерном этапе развития человеческого общества.

С созданием ЭВМ связан один из важнейших этапов научно-технической революции XX века. Если во времена Н. А. Бернштейна ручная обработка киноциклограммы одного типа занимала около двух недель, то сегодня оператор измерительной системы «Stekometer» справляется с этой работой за час.

* Электронной вычислительной машиной (ЭВМ) называется электронное устройство для автоматической обработки информации по заданной программе. Электроника — не единственно-возможная основа для создания вычислительных машин. Не так давно в Институте проблем управления АН СССР создан комплекс пневматических элементов вычислительной техники, в котором для решения арифметических и логических задач вместо электрического тока используется поток воздуха.

По принципу действия электронные вычислительные машины делятся на цифровые (ЦВМ) и аналоговые (АВМ). И в том, и в другом случае машина оперирует с числами, преобразованными в электрические сигналы. Но в аналоговой машине каждой цифре соответствует определенная величина электрического напряжения или тока (электричество в этом случае — аналог, модель числа). А цифровая машина оперирует с самими цифрами, записанными в десятичном или дво-

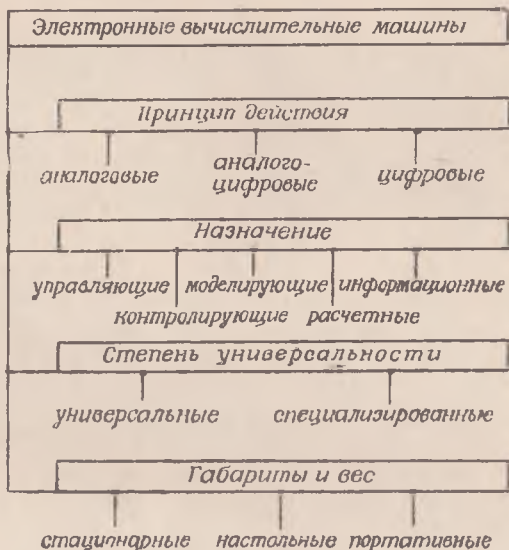


Рис. 38. Разновидности вычислительных машин, применяемых в физической культуре и спорте.

ичном коде. Свойство электрического тока протекать по проводам со скоростью света определило основное достоинство аналоговых машин — высочайшее быстродействие, позволяющее получать результат вычислений практически мгновенно. Их недостаток — невысокая точность; относительная приведенная погрешность АВМ близка к 5%. Цифровые машины, напротив, могут обеспечить сколь угодно высокую точность вычислений. Но зато они инерционнее аналоговых: расчеты на ЦВМ требуют времени тем большего, чем сложнее задача и выше необходимая точность.

Особенностями аналоговых и цифровых машин определяются сферы их применения. Если вычисления не должны отставать от хода изучаемого процесса, как это имеет место при

В 1641 г. Б. Паскаль изобрел арифмометр. Работая на механическом настольном арифмометре, опытный вычислитель способен произвести 200—300 тысяч арифметических операций в год. Сравните с этой цифрой быстродействие современных электронно-вычислительных машин, достигающее десятков миллионов операций в секунду.

И лишь в наше время стало возможно такое: спортсмен на тренировке несет на себе электронно-вычислительное устройство весом около 100 граммов и непрерывно получает информацию о том, соответствуют его действия тренерской установке или нет.

Прогнозирование спортивного результата — и электронная модель сердца, на которой без риска для здоровья спортсмена можно воспроизводить самые рискованные для спортсмена ситуации и отыскивать оптимальный режим его поведения. Автоматический анализ знаний абитуриентов на приемных экзаменах и автоматизированное составление расписания в институте физкультуры. Экспресс-диагностика тренированности и заболеваний... Не перечить чудес, переключавших со страниц научно-фантастических романов в реальность сегодняшнего дня благодаря достижениям вычислительной техники. Недаром профессор Н. Н. Моисеев — видный специалист в области математизации гуманитарных дисциплин — сравнивает изобретение электронно-вычислительных машин с покорением огня (Л. VII—20).

В 1951—53 г.г. и в нашей стране, и за рубежом появились первые серийные ЭВМ (Л. VII—11, 23, 26). С тех пор электронные вычислители совершили гигантский скачок в своем развитии от громоздких и малонадежных машин «первого поколения»* до совершенных — быстродействующих, надежных и малогабаритных вычислителей. Сегодня вычислительные машины широко используются во всех отраслях народного хозяйства, решая самые разнообразные задачи: и «рутинные» (простейшие, но очень трудоемкие), и самые сложные, которые человек без помощи вычислительной техники решить не в состоянии.

1. РАЗНОВИДНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Вычислительные машины чрезвычайно многообразны (рис. 38). Они различаются по принципу действия, назначению, габаритам, весу и ряду других признаков.

* Различают четыре поколения ЭВМ, каждое из которых отличалось от предыдущего элементной базой (электронные лампы-транзисторы-интегральные схемы), быстродействием (от 10 тысяч до десятков миллионов операций в секунду) и более совершенной системой программирования (VII—5, 23).

контроле за состоянием спортсмена и управлении его действиями в ходе тренировки, то предпочтительнее аналоговая техника, способная работать «в реальном масштабе времени». Если же на первом плане точность вычислений (например, при статистических расчетах), то обычно используют цифровые машины. Однако стремительное развитие электроники делает эти правила все более условными. Современные цифровые устройства при решении простых задач почти не уступают аналоговым по быстродействию (Л. VII—11, 12, VI—14). А в новейших образцах аналоговых машин удалось значительно снизить погрешность вычислений (Л. VII—12). Кроме того, все большую популярность завоевывают аналого-цифровые вычислительные системы, обладающие достоинствами и цифровых, и аналоговых машин (Л. VII—12, 29).

Независимо от принципа действия, ЭВМ делятся на универсальные и специализированные. Специализированные вычислительные устройства предназначены для решения какой-то одной строго определенной задачи. Например, вычислительная система для фазового анализа сердечной деятельности (Л. II—42; V—15) призвана автоматизировать именно этот трудоемкий процесс. Универсальная вычислительная машина может быть запрограммирована на решение различных задач.

Важное значение имеют габариты и вес вычислительной аппаратуры. Исторически первыми появились стационарные ЭВМ, весившие сотни килограммов и занимавшие значительные площади. Стационарные машины широко используются и сегодня. Получают распространение в спорте и настольные вычислительные машины: аналоговые МН-7 и МН-10, цифровая ВАНГ-2200 (США) и др. Но особенно знаменательно появление портативных, а точнее — карманных ЭВМ с автономным питанием, весом от ста до нескольких сот граммов. Портативные вычислительные устройства (карманный калькулятор «Электроника», сумматор пульса, кардиолидер, пульсотаксометр, шагомер и т. п.) можно разместить на теле спортсмена, в кармане его одежды или одежды тренера. Иногда портативные ЭВМ монтируют на спортивном инвентаре — на раме велосипеда, в корпусе гребного судна.

II. СОСТАВ И СТРУКТУРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Состав и структура цифровых и аналоговых ЭВМ различны.

Цифровая вычислительная машина

Состоит из арифметического устройства, запоминающего устройства, устройства управления и устройств ввода и вывода информации.

Устройство ввода информации — «глаза и уши» вычислительной машины. С помощью вводного устройства машине даются задания: вводятся исходные данные и программа вычислений. В роли носителя исходной информации может выступать перфокарта, перфолента, магнитная лента, «маркированная карта» (лист бумаги с условными знаками, наносимыми вручную) или клавиатура — система клавиш, при нажатии на которые в запоминающее устройство поступают электрические импульсы. В последнее время делаются попытки разработать приспособления, которые позволили бы вводить исходную информацию голосом.

Запоминающее устройство («память» вычислительной машины) служит для хранения информации: исходных данных, программы вычислений, промежуточных и окончательных результатов. Качество «памяти» определяется ее емкостью и быстродействием. Часто запоминающим устройством служит специальный цифровой магнитофон. Но этот способ — не самый совершенный, поскольку для извлечения нужной информации может потребоваться длительная перемотка ленты. Поэтому разработаны другие способы «запоминания» — на магнитном барабане и магнитных дисках и т. д., с помощью которых запись и воспроизведение информации осуществляется за доли секунды.

Емкость запоминающего устройства является важной характеристикой вычислительной машины и измеряется в единицах количества информации — битах. Один бит это двоичный сигнал, т. е. сигнал, принимающий одно из двух значений: 0 и 1. Один бит позволяет закодировать один символ, два бита — четыре символа: 00, 01, 10, 11, три бита — восемь символов... и наконец, n бит — 2^n различных символов. В вычислительной технике принято измерять информацию не в битах, а в «байтах»; один 8-разрядный байт равен $2^8 = 256$ бит. Емкость современных запоминающих устройств достигает 250 000 байт (магнитная лента), 600 миллионов байт (магнитные диски).

Выводные устройства вычислительной машины сродни регистрирующим устройствам, о которых рассказывалось в VI главе. Но есть и новинки: например, дискретный графопостроитель с шаговыми двигателями, позволяющий автоматически строить графики типа корреляционного поля (см. гл. II) или выводные устройства матричного типа, дающие возможность сделать результат вычислений предельно простым и наглядным (рис. 39). Большие возможности оператору ЭВМ предоставляет дисплей — экранный пульт, на котором исходные данные и результаты вычислений высвечиваются в привычной форме — форме цифр, букв, слов.

Арифметическое устройство, или «процессор», предназначено для выполнения вычислений, которые в цифровой вычислительной машине сводятся к большому числу простых арифметических и логических действий (сложение, вычитание, умножение, деление, идентификация и т. д.). А управляющее устройство выполняет роль диспетчера: распределяет потоки информации и «руководит» ходом вычислительного процесса.



Рис. 39. Результат моделирования прыжка, полученный с помощью электронной вычислительной машины и представленный в наглядной графической форме на выводном устройстве ЭВМ (по Garret с соавт., 1971).

Программированию и эксплуатации цифровых вычислительных машин посвящена обширная литература (Л. VII—11, 23, 26, 28; VI—14 и др.); первое ознакомление с этими вопросами целесообразно начать с Л. VII—5, 19, 24.

Аналоговая вычислительная машина

Не нуждается в запоминающем устройстве, поскольку вычисления на АВМ осуществляются практически мгновенно, а программа расчетов заложена в способе, которым соединены между собой основные элементы аналоговой машины — «операционные» («решающие») усилители, блоки нелинейности и блоки умножения и деления.

Операционным усилителем называется усилитель постоянного тока с высоким (10^6 и более) коэффициентом усиления, охваченный цепью глубокой отрицательной обратной связи. Благодаря обратной связи коэффициент усиления резко сни-

жаются, но зато стабилизируется и становится равным отношению сопротивления обратной связи к сопротивлению на входе усилителя. В результате остановится возможной математическая операция умножения на постоянный коэффициент:

$$\frac{Y_1}{X_1} = \frac{Z_{oc}}{Z_1}, \text{ или } Y_1 = X_1 \frac{Z_{oc}}{Z_1} \text{ (см. рис. 40)}$$

Несколько сигналов, одновременно воздействующих на вход операционного усилителя, усиливаются независимо друг от друга:

$$Y = X_1 \frac{Z_{oc}}{Z_1} + X_2 \frac{Z_{oc}}{Z_2},$$

на чем основано сложение и вычитание в аналоговых машинах*.

Если входные сопротивления и цепи обратной связи содержат реактивные элементы (чаще всего — емкости), то становится возможным интегрирование, дифференцирование, решение дифференциальных уравнений и другие математические операции, пригодные для исследования и моделирования изменяющихся во времени систем и процессов (Л. VII—7, 10, 12, 15).

Например, передаточная функция (см. гл. II) операционного усилителя с емкостью в цепи обратной связи ($Z_{oc} = \frac{1}{\omega C}$) и активным сопротивлением на входе ($Z_1 = R$) соответствует передаточной функции интегрирующего звена:

$$\frac{Y_1}{X_1}(\omega) = \frac{Z_{oc}}{Z_1} = \frac{1}{\omega RC} = \frac{1}{6,28f \cdot RC},$$

где f — частота входного сигнала, измеренная в герцах (Гц). Если ко входу такого усилителя подключить постоянное напряжение, то на выходе усилителя напряжение будет накапливаться (интегрироваться), и при этом его величина будет изменяться во времени по линейному закону. Именно этот принцип использован в программирующем устройстве к велоэргометру, облегчающем измерение статических характеристик физиологических регуляторов (Л. II—42).

Если поменять местами емкость и сопротивление ($Z_{oc} = R$, $Z_1 = \frac{1}{\omega C}$), операционный усилитель становится дифференцирующим звеном с передаточной функцией

* Программируя АВМ, нужно учитывать, что операционный усилитель меняет знак входной переменной на противоположный: положительный сигнал после усиления становится отрицательным, и наоборот.

$$\frac{Y_1}{X_1}(\omega) = \frac{Z_{oc}}{Z_1} = \omega RC = 6,28f \cdot RC$$

Аналоговые дифференцирующие устройства применяют в физической культуре и спорте (Л. VII—9), а также в физиологии и медицине (Л. VII—22, 25, 30, 31) для автоматического вычисления скоростей и ускорений.

Комбинируя Z_1 и Z_{oc} , можно превратить операционный усилитель и в оптимальный фильтр для обнаружения биоэлектрических и биомеханических сигналов на фоне помех (Л. VII—7, 17, 42), и в нелинейный преобразователь со статической характеристикой нужной формы, и в электрическую модель сердца и сосудов (Л. VII—18, 35, 36, 39). Причем все это «малой кровью», без существенного усложнения программы и, что особенно подкупает в аналоговой вычислительной технике, без больших претензий к квалификации оператора, который может и не иметь специального инженерного образования. А азбуку программирования АВМ легко найти в литературе (Л. VII—10, 14, 16, 21, 34).

III. «ПРОФЕССИИ» ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН В СПОРТЕ

Так могла бы называться целая книга, увлекательная и нужная. Касаясь этого вопроса конспективно, рассмотрим лишь те случаи применения вычислительных машин, в которых они могут принести наибольшую пользу физической культуре и спорту.

Контроль состояния спортсмена

Осуществляют либо в лаборатории, либо на тренировке. В первом случае вычислительная техника освобождает исследователя от кропотливого ручного труда и, самое главное, позволяет оценить состояние спортсменов и дать необходимые рекомендации сразу же по окончании исследования. Особенно продвинулась вперед разработка специализированных вычислительных машин для медико-биологических исследований (табл. 17). Создается аппаратура для автоматизированного контроля теоретических знаний, которую в дальнейшем, по-видимому, можно будет приспособить и для контроля тактической подготовленности спортсменов.

В условиях тренировки вычислительное устройство должно подключаться к радиотелеметрической системе или перемещаться вместе со спортсменом. По этой причине в условиях тренировки удастся контролировать лишь частоту сердечных сокращений и, в отдельных видах спорта (гребля, велосипед и т. п.) — скорость передвижения спортсмена по дистанции.

Серийно-выпускаемые приборы для медико-биологических исследований,
оснащенные вычислительными устройствами для автоматической
обработки получаемых данных.

№ п/п	Название прибора	Фирма и страна-изготовитель	Назначение	Примечания
1	«Пневмотест»	«Эгерт» (ФРГ)	Газовый анализатор с автоматическим расчетом ряда функциональных показателей дыхания.	Содержит тредбан, блоки для кардиологического контроля, ЭЦВМ
2	Радиотелеметрическая система «Спорт»	СССР	Радиотелеметрическая регистрация ЭКГ, ЭМГ, частоты дыхания, ЧСС	С автоматическим подсчетом частоты сердечных сокращений и частоты дыхания
3	«Эрготест»	«Майнхардт» (Голландия)	Газовый анализ с автоматическим вычислением результата	
4	Автоматический спирограф-анализатор АС-2000	Асахи Медикал Ко (Япония)	Газовый анализ с автоматическим расчетом 23-х показателей внешнего дыхания	содержит специализированную мини-ЭВМ
5	Анализатор биохимический	Химетрикс Ко (США)	Полный биохимический анализ крови	36 показателей; быстрое действие — 20 секунд на полный анализ одной пробы
6	Аппарат для автоматического измерения кровяного давления АВМ-2А	Медикор (Венгрия)	Автоматическое измерение давления крови методом Короткова	С дистанционным управлением и цифровой индикацией результата; одно измерение — за 30 секунд
7	Автоматический счетчик кровяных телец СС-108	Тоз Медикал Электрик (Япония)	Подсчет основных показателей клинического анализа крови	гемоглобин, эритроциты, лейкоциты, гематокрит и др.
8	С — Юниор	Культроникс Франс (Франция)	Биохимический анализ крови	20 секунд на один полный анализ; результаты автоматически печатаются на специальных карточках.

Из пульсометрической аппаратуры получили распространение пульсотаксометры — приборы, автоматически подсчитывающие частоту сердечных сокращений, и сумматоры пульса. Тренеров и спортсменов не удовлетворяют технические характеристики серийных пульсотаксометров (табл. 18), и потому инженеры не прекращают поиски. Образцом потенциальных возможностей современной электроники могут служить наручные электронные часы. Вероятно, не всем известно, что их электрическая схема состоит из высокостабильного генератора электрических импульсов, многоразрядного счетчика с дешифратором и цифрового индикатора на жидких кристаллах.

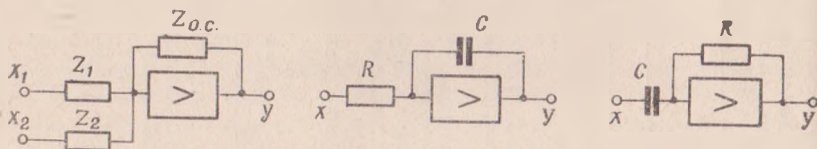


Рис. 40. Использование операционного усилителя для усиления и суммирования, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов

И все это вместе с источником питания размещается в корпусе наручных часов! Небольшое изменение в схеме, и наручные часы можно будет использовать для контроля за частотой пульса.

Аналогичные проблемы стоят и перед конструкторами сумматоров пульса — приборов для подсчета общего числа сердечных сокращений за заданный отрезок времени — за тренировку, за сутки и т. д. Диагностическую ценность «суммы пульса» более десяти лет назад продемонстрировал Н. Г. Кулик, изучавший суммарные величины пульса у борцов-самбистов (Л. VII—13). Заметим, что серийно выпускаемый сегодня сумматор пульса СП-75 (производство ВИСТИ) немногим превосходит первый в истории сумматор пульса (Rowley, 1959), который весил около 100 граммов и имел габариты $90 \times 75 \times 15$ мм.

Регулирование тренировочных нагрузок

Логическое продолжение контроля за состоянием спортсмена. Лишь зная потенциальные возможности спортсмена, его состояние в данный момент времени и измеряя объем и интенсивность тренировочных упражнений, можно приступать к решению задачи рационального планирования тренировочного процесса. Тот факт, что вычисление абсолютного значения нагрузки (как бы ни была сложна сама по себе эта

Технические характеристики пульсотомеров

№	Тип пульсотометра	Пределы измерений ЧСС (уд/мин)	Абсолютная погрешность измерения (уд/мин)	Время непрер. работы (час)	Габариты мм×мм×мм	Вес (кг)	Тип датчика	Способ регистрации результатов измерений	Конструктивные особенности	Изготовитель
1	ПТ-01 ПТ-02	20÷200	±10	Не ограничено	370×160× ×180 мм	5	ПТ-01-пальцевый, ушной; ПТ-02, кроме того, имеет датчик ЭКГ	Стрелочный	Возможность установки граничных значений пульса	Опытный завод ВНИИМП СССР
2	Модель 084	30—250	±15	Не ограничено	150×275× ×95	3	Фотодатчики: ушной и пальцевый	Стрелочный с подачей светового и звукового сигнала	—	Лен. объединение «Красногвардеец» СССР
3	ПТ-70	40—240	±12	2 часа с фотодатчиком, 10 часов с датчиком ЭКГ	212×115× ×90	1,85	Фотодатчик пальцевый, датчик ЭКГ	Стрелочный	Батарейное питание	Опытный завод ВИСТИ СССР
4	КТ-01	20—200	±10	Не ограничено	370×160× ×180	5	ЭКГ-датчик	Стрелочный	см. ПТ-01	Опытный завод ВНИИМП
5	КТЦ-01	20—200	±5	»	400×310× ×290	10	Фотодатчик и датчик ЭКГ	Цифровой и стрелочный; на цифр. печать и табло	Дискретный выход; установка граничных значений	Опытный завод ВНИИМП

операция!) не позволяет судить о том, чего стоит эта нагрузка отдельно взятому, конкретному спортсмену, вызвал к жизни работы, посвященные исследованию «трудности» физических упражнений (Л, VII—1, II—40 и др.). И действительно: та же самая нагрузка окажется для спортсмена субъективно значительно более тяжелой, если накануне тренировки он заболел или нарушил тренировочный режим. А пятиминутная работа «на пульсе 170 уд/мин», не составляющая труда для молодого здорового парня, невыполнима для человека средних лет, если его сердце уже не способно сокращаться с такой частотой.

Рациональное дозирование физической нагрузки — одна из центральных проблем спорта и лечебной физической культуры. В ее решении вычислительные машины могут играть важную роль. Самые совершенные из них работают в режиме «on line» — т. е. производят вычисления практически мгновенно, «в темпе поступления исходной информации» и тем самым обеспечивают экспресс-информацию о состоянии спортсмена. Но еще ни разу вычислительная машина не рассчитала оптимального плана тренировки — и не потому, что ее возможности ограничены, а из-за отсутствия соответствующих программ. Формализовать интуицию наших выдающихся тренеров, переложить на машинный язык, проверить расчетами, а при необходимости и скорректировать логику их решений — давно назревшая и очень сложная проблема, которую должны сообща решать тренеры и специалисты по вычислительной технике.

Диагностика и прогнозирование

Взгляните на рис. 41, где изображена пульсограмма самбиста-перворазрядника Б-я — внешне здорового человека, который после пятиминутного педалирования на велоэргометре с мощностью 1200 кГм/мин, на фоне нормально протекавшего восстановления неожиданно потерял сознание. Благодаря тому, что к спортсмену был подключен пульсотаксометр, диагноз был поставлен моментально: «остановка сердца!», и экстренные меры (непрямой массаж сердца и т. д.) вернули человека к жизни. Придя в себя, он рассказал, что обморочные состояния случались и на тренировках, но при диспансерных обследованиях никаких признаков болезни не обнаруживалось. И лишь благодаря вычислительной технике было установлено, что занятия борьбой данному спортсмену противопоказаны, ибо для него они сопряжены с опасностью для жизни.

Это лишь один пример того, как по результатам измерения можно оценить состояние спортсмена — поставить «диагноз» (от греческого *gnōsis* — знание). При диагностике поль-

зуются шкалами порядка, например: болен — здоров, нетренирован — тренирован. Если измеряется одна переменная (например, частота сердечных сокращений), то диагноз можно поставить и без вычислительной машины, но такой диагноз будет неточен ввиду недостатка исходной информации. Стремясь повысить точность диагностики, увеличивают число из-

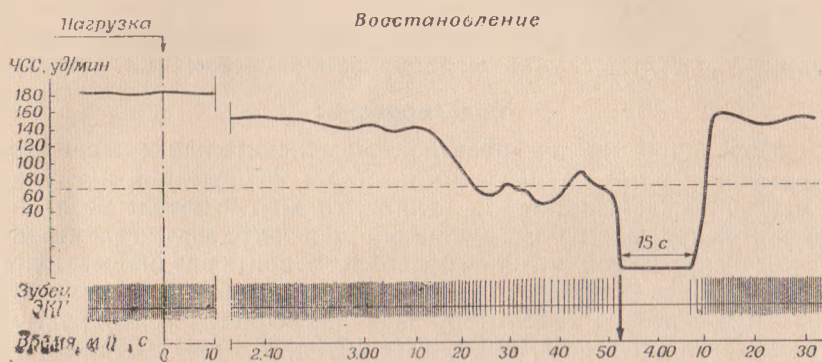


Рис. 41. Случай остановки сердца, наступившей у спортсмена (самбист, 1 р.) после физической нагрузки (5 минут, 1200 кг/мин): ЧСС — частота сердечных сокращений; ЭКГ — импульсы, синхронные зубцу R электрокардиограммы, горизонтальная пунктирная линия соответствует исходной частоте пульса (запись производилась непрерывно с помощью вычислительной машины для автоматического подсчета частоты сердечных сокращений).

меряемых переменных. Однако при этом объем информации возрастает настолько, что обычный человек оказывается не в состоянии с нею справиться. Проплыть между Сциллой (недостаток информации) и Харибдой (её избыток) и поставить точный диагноз помогает вычислительная техника. Подобно опытному тренеру, вычислительная машина может хранить в своей памяти сотни случаев из практики и необходимые теоретические сведения. При правильной организации дела в запоминающем устройстве ЭВМ может быть сконцентрирован опыт многих тренеров. И, что немаловажно, машина лишена эмоций и объективна, если, конечно, объективны те, кто ее программирует.

В медицине уже созданы первые системы машинной диагностики и прогнозирования (Л. VII—43), которые могут служить ориентиром для спортивной науки. Термин «прогнозирование» (в переводе с греческого «знать заранее») означает предвидение состояния системы в будущем. При прогнозировании используется тот же математический аппарат, что и при диагно-

стике и, кроме того, еще ряд глав математики — регрессионный анализ, анализ временных рядов и др. (Л. VII—44). Поэтому при решении связанных с прогнозированием практических задач (отбор спортсменов, спортивная ориентация, комплектование команд, предсказание спортивного результата, прогноз рекордов, планирование работы физкультурных организаций и т. д.) вычислительные машины еще более необходимы, чем при диагностике.

С точки зрения теории систем, диагностика и прогнозирование — частные случаи моделирования систем (см. гл. II).

Моделирование

Моделирование на электронно-вычислительных машинах применяют в тех случаях, когда объем информации и трудоемкость вычислений столь велики, что другие методы исследования неприемлемы. Сегодняшний уровень развития электронно-вычислительной техники позволяет строить различные модели — от простейших (Л. II—26, 44 и т. п.) до чрезвычайно сложных и достаточно точно отображающих свойства моделируемого объекта (Л. II—52, 62, 65; VII—27, 35, 36, 37, 41). Практически полезные электронные модели постепенно вытесняют модели-игрушки, создававшиеся преимущественно в рекламных целях. По свидетельству Ф. Мартина (Л. VII—19), в начале 50-х годов в США была сконструирована механическая модель воздушного боя, на которой каждый вариант боя проигрывался за три часа. Изготовленный позднее электронный вариант модели воспроизводит воздушный бой в 10 000 раз быстрее — за одну секунду машинного времени. Интересна и модель игры в бейсбол, оперирующая позициями игроков и такими элементами игры, как подача, удар по мячу, борьба за мяч и т. д. На выходе модели — оценки различных тактических вариантов, профессионального умения игроков и качества игры команд.

Одно из перспективных направлений развития машинного моделирования — спортивная квалиметрия. С помощью вычислительной техники создаваемые сегодня модели качества (учебно-тренировочного процесса, качества игры, качества выполнения упражнений и т. д.) и модели специалиста (идеального спортсмена в каждом виде спорта, идеального тренера, идеального преподавателя и т. п.) могли бы быть уточнены и оптимизированы.

Оптимизация

Термин «моделирование» часто соседствует с терминами «оптимальность», «оптимизация». Под оптимизацией понимают поиск условий, при которых критерий оптимальности достигает наибольшего (или наименьшего) значения. Процессу

оптимизации предшествует выбор критерия оптимальности — задача порой значительно более трудная, чем управление системой по заданному критерию (Л. VII—20). Например, стайер может считать оптимальной такую технику движений, которая обеспечивает наименьшие энерготраты на 1 метр пути, при заданной скорости передвижения. А что считать критерием оптимальности техники спринтера? И какими критериями пользоваться, например, при оптимизации тактики игры? Сложность проблемы критерия в том, что «глобальные» критерии (спортивный результат) оказываются слишком грубыми и неэффективными, и приходится искать другие, более тонкие критерии, подвергая оптимизируемую систему системно-структурному анализу. Кроме того, качество сложной системы нередко оценивается сразу по нескольким критериям.

Сложность математического аппарата оптимизации (Л. II—49, VII—45, 46) и его неспособность точно описывать сложные, в том числе живые системы дают преимущества методам оптимизации на моделях. В качестве простого примера рассмотрим способ оптимизации тактики биатлониста, разрабатываемый автором совместно с В. Г. Пивоваровым и В. В. Тихоновым. Как известно, результат биатлониста зависит от результата в гонке, точности и скорости стрельбы. И чем больше сил отдает спортсмен гонке, тем вероятнее промахи при стрельбе. На первом этапе была решена задача оптимизации тактики подхода биатлониста к огневому рубежу, без учета инерционных свойств физиологических систем в организме спортсмена. Полученные результаты свидетельствуют о том, что существует оптимальная частота сердечных сокращений (а значит — оптимальная скорость), при которой биатлонист должен подходить к огневому рубежу, чтобы его суммарный результат был наилучшим. У перворазрядника при стрельбе из боевого оружия оптимальная ЧСС равна 150 уд./мин., а при стрельбе из малокалиберной винтовки 160—170 уд./мин.

На первом этапе исследования вычислительная техника понадобилась дважды: частота сердечных сокращений программировалась портативным вычислительным устройством — кардиолидером, и статистическая обработка результатов была проведена на вычислительной машине. При этом оказалось, что различия между результатом биатлониста при оптимальной ЧСС и результатами, полученными при других значениях частоты пульса, статистически достоверны ($p < 0,05$).

Результаты первого этапа интересны прежде всего спортсменам невысокой квалификации, поскольку ведущие биатлонисты ведут гонку на высокой скорости (при высоких значениях тахикардии), а перед огневым рубежом резко сбрасывают скорость бега, к моменту стрельбы успевают восстано-

виться и стараются вести стрельбу при ЧСС ≤ 130 уд./мин. Скорость восстановления индивидуальна и зависит от мощности бега и уровня тренированности спортсмена. Если математический аппарат первого этапа удалось огарничить методом линейного программирования (Л. VII—47, 48), то учет инерционности системы кровообращения биатлониста на втором этапе исследования потребует привлечения более сложных математических методов. А усложнение математического аппарата при настоятельной потребности уже сегодня получать практически значимые результаты заставит перейти от математических методов оптимизации к моделированию оптимизируемой системы на вычислительной машине.

Информационный поиск

Некоторые профессии требуют исключительной памяти. В их числе — профессия тренера, руководителя физической культуры и спорта, научного работника. Но память человека не беспредельна, а объем необходимой информации неуклонно растет. И в результате — ошибки, брак в работе. Чтобы ускорить информационный поиск* и повысить его точность, систематизируют нужную информацию и создают картотеки и каталоги наподобие тех, которыми уже давно пользуются работники архивов, библиотек и справочных служб. Но дальновиднее поместить эту информацию в память вычислительной машины и по мере надобности обращаться к ней за справками. Такие вычислительные системы, называемые информационно-поисковыми, уже используются в спорте. Одну из них фирма «Видеотон» (Венгрия) демонстрировала в 1976 году на выставке «Техника — Олимпиаде». Венгерские специалисты ввели в запоминающее устройство электронно-вычислительной машины ЕС-1010** ответы на 65 тыс. вопросов из разных областей спорта. А в числе экспонатов выставки «Электро-77» — созданная финской фирмой «Нокиа-электроник» универсальная вычислительная система «Нокиа-80». Информационный поиск в гостинице — одно из применений «Нокиа-80», которая мгновенно сообщает администратору о наличии свободных номеров. Почему бы не использовать подобную систему в спортивной школе и институте физкультуры для контроля за занятостью залов и аудиторий?

Информационно-поисковые системы незаменимы в административной и кадровой работе. ЭВМ запоминает анкетные

* Информационным поиском называется поиск информации по признакам, указанным в запросе, или поиск сведений, содержащих ответ на заданный вопрос.

** ЕС-1010 — самая малая из ЭВМ в Единой системе электронно-вычислительных машин, разрабатываемой в рамках Совета экономической взаимопомощи.

данные всех сотрудников учреждения, и руководитель может быстро получить точную справку о том, кто из сотрудников обладает качествами, необходимыми для выполнения очередного задания. А информационно-поисковая система, предназначенная для контроля за выполнением приказов и распоряжений, дает ответы на вопросы:

— когда истекает срок выполнения задания?

— какие приказы должны быть выполнены, например, двадцать первого июня 1977 года?

— какие распоряжения не выполнены в срок? и т. д.

При информационном поиске пользуются «информационным языком», специально создаваемым для сжатого описания информации. Самый простой из них — информационный язык дескрипторного типа, на котором каждый элемент информации выражается совокупностью ключевых понятий — дескрипторов. Например, проектируя отраслевую службу информации в физической культуре и спорте, Г. М. Гаврилов и А. В. Седов (Л. VII—3), предложили список дескрипторов, состоящий из двух групп терминов — названий видов спорта и наименований проблем, стоящих перед физической культурой и спортом. В этом списке «гребной слалом» закодирован символом 2.9, а «планирование тренировки» — 10.9; следовательно, все публикации, посвященные планированию тренировки в гребном слаломе, получают индекс 2.9,10.9. Отвечая на очередной запрос, информационно-поисковая система извлекает из памяти вычислительной машины всю информацию, индекс которой совпадает с индексом запроса.

В настоящее время на основе теории измерений (особенно — того ее раздела, который посвящен многомерным измерительным шкалам), математической логики, теории информации и семантики (раздела лингвистики, изучающего слова с точки зрения их смысла) создаются способы оптимального поиска информации.

* *
*

Вычислительные машины широко используются в промышленности, экономике, военном деле, на транспорте и во многих других отраслях народного хозяйства. Рекламируются машины, играющие в шахматы, шашки, карты и другие игры; машины, сочиняющие музыку, доказывающие теоремы и проверяющие математические доказательства; машины, составляющие программы для других ЭВМ. Отрадно сознавать, что ЭВМ, решающие проблемы физической культуры и спорта, перестают быть научной фантастикой и становятся реальными помощниками спортсменов, тренеров и руководителей спорта.

Глава VIII. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ОБУЧЕНИИ СПОРТСМЕНОВ

«Затруднение не в вопросе что нужно сделать, но как сделать. А это вопрос педагогической техники».

А. Макаренко

Методы измерения и тестирования позволяют получить представление о состоянии спортсмена в момент измерения. Оценив физическую, техническую, психологическую, тактическую и теоретическую подготовленность спортсмена, можно судить об уровне его тренированности на сегодняшний день. Но задача тренера состоит не только в том, чтобы определить функциональное состояние своего воспитанника. Задача тренера — подготовить спортсмена высокого класса или, говоря языком теории систем, перевести данную систему (спортсмена) в определенное, наперед заданное состояние — состояние высокой тренированности.

Принципы теории управления в сочетании с принципами и техникой измерения легли в основу целого ряда новых, «нетрадиционных» методов обучения двигательным действиям. Все чаще спортсмены используют в своих тренировках тренажеры — механические и электронные помощники тренера. И если раньше успех способного спортсмена зависел целиком от таланта, интуиции и удачливости тренера, то в последние годы достижения измерительной техники и теории управления создали предпосылки для объективного, научного обоснования стратегии и тактики тренировки.

В физической культуре и спорте тренажерами называют технические приспособления, позволяющие имитировать спортивные движения и программировать режимы двигательной деятельности и тем самым ускоряющие процесс становления спортивного мастерства.

Первые тренажеры для обучения движениям появились еще в глубокой древности. Уже тогда люди стремились ускорить процесс обучения путем использования разнообразных технических приспособлений. Например, гладиаторы древнего Рима осваивали технику нападения и защиты от ударов с помощью специального приспособления, состоявшего из нескольких непрерывно вращающихся обоюдоострых мечей. А в средние века рыцари учились владеть копьем, атакуя специальную мишень, которая при точном ударе падала, а при неточном ударе наносила рыцарю чувствительный удар по спине.

ратной связью и срочной информацией может служить кардиолидер.

Особое место занимают многоконтурные тренажеры с обратной связью и срочной информацией. В основу таких тренажеров положен принцип многоконтурного управления (Л. VIII—20, 34). В многоконтурных тренажерах программируется одновременно несколько показателей жизнедеятельности. Для этого организуют несколько одновременно действующих контуров обратной связи, и конструкция тренажера несколько усложняется. Однако эти затраты окупаются дополнительными возможностями многоконтурных тренажеров. С их помощью удается более точно и целенаправленно дозировать тренировочные нагрузки, отыскивать индивидуально-оптимальные варианты техники движений (Л. VIII—29, 30) и решать ряд других важных задач спортивной практики.

1. ТРЕНАЖЕРЫ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Появились в физкультуре и спорте раньше других. Их конструировали медики, тренеры и спортсмены-практики, энтузиасты своего дела. И на сегодняшний день в отечественной и мировой литературе накопились сведения о многих десятках таких простейших тренажеров (Л. VIII—3, 4, 7, 8, 12, 15, 18, 27).

Один из них — тренажер для боксера, позволяющий приблизить условия тренировки к условиям боя. Выступающие части тренажера крепятся к основной стойке на пружинах и напоминают руки и голову партнера. Использование такого тренажера вместо традиционных тренировочных средств (боксерский мешок, настенная подушка, насыпная груша и т. д.) обогащает стиль боксера, делает его поведение в бою более разнообразным. На кафедре бокса ГЦОЛИФКа под руководством И. П. Дегтярева создана подобная конструкция, укрепленная на подвижном, периодически поднимающемся и опускающемся основании. При чем «руки» тренажера также сделаны подвижными и время от времени с силой выбрасываются вперед, имитируя ответный удар и заставляя тренирующегося боксера быть бдительным.

Другой пример тренажера «без обратной связи» — устройство для метания волейбольных мячей, позволяющее многократно метать мяч с определенной скоростью и траекторией, что создает благоприятные условия для обучения волейболистов и для совершенствования техники и тактики игры. Скорострельность устройства — 6—8 мячей в минуту. (Л. VIII—18).

Подобные тренажеры применяются и в других игровых видах спорта. Так, широкую известность приобрела «теннисная

пушка» — конструкции И. В. Всеволодова, которая по желанию тренера посылает на площадку плоские, крученые или резаные мячи с регулируемой силой и траекторией (Л. VIII—7).

Устройство для метания мячей помогает совершенствовать защитные действия игроков. Известны тренажеры и для совершенствования нападающих действий. Один из них предложен С. И. Алихановым (Л. VIII—1) и представляет собой искусственный волейбольный блок, состоящий из трех блокирующих устройств с дистанционным спусковым механизмом. Тренер, следя за разбегом и прыжком волейболиста, дергает за веревочные тяги и выбрасывает одиночный, двойной или тройной блок. Тренажер помогает совершенствовать нападающие удары, создавая на тренировке ситуации, близкие к игровым.

Широко известны тренажеры, основанные на принципе «отягощения» и принципе «облегчения». Если развивать стартовое ускорение хоккеиста, привязывая к его борту резиновым жгутом, то в обычных, неотягощенных условиях он стартует стремительно, точно выброшенный катапультой. Подобное состояние знакомо геологам, туристам и альпинистам: освободившись от тяжелого рюкзака, с которым не расставался несколько недель, некоторое время ощущаешь необыкновенную легкость — не ходишь, а словно летаешь, как на крыльях.

Яркий пример практического применения принципа «облегчения» — «подвеска» для тренировки спринтера, предложенная И. П. Ратовым. Специальный трос, прикрепленный к подвижному блоку, подтягивает бегуна вверх, что эквивалентно уменьшению силы тяжести. В облегченных условиях спринтер показывает значительно более высокий, чем обычно, результат, и приобретает навык сверхбыстрого бега. Приобретенный навык сохраняется и после того, как облегчение устранено.

Многие тренажеры основаны на глубоком знании анатомии (Л. VIII—39, 40) и биомеханики (Л. I—5) и служат для развития именно тех групп мышц, которые участвуют в разучиваемом двигательном действии. Конструктивно они чаще всего очень просты (резиновый жгут, эспандер и т. п.), но иногда выполняются в виде довольно сложных и хитроумных комбинаций резиновых тяжей и пружин. Такие тренажеры полезны и при совершенствовании форм человеческого тела, в косметологии.

Тренажеры без обратной связи приносят несомненную пользу в тренировочном процессе (см., например, Л. VIII—3); их отличительная черта — отсутствие объективного контроля за качеством выполнения упражнений.

II. ТРЕНАЖЕРЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Принцип обратной связи

Попытайтесь, закрыв глаза, продеть нитку в игольное ушко или просто взять в руку какой-нибудь предмет. Вы увидите, что это очень трудно сделать. Причиной тому — нарушение цепи обратной связи, по которой информация о результате вашей деятельности через зрительный анализатор поступает в головной мозг. Уже этот простой пример показывает, сколь велика роль обратной связи — важного условия выживания и оптимального поведения сложных биологических систем. Понятно, что добиться успеха в тренировке, не имея информации о результате своих действий, — еще труднее. Можно сказать, что тренировка без тренажеров с обратной связью — это тренировка вслепую.

Первые серьезные работы по теории и практическому применению принципа обратной связи появились в технике. Одной из первых автоматических систем управления с обратной связью был регулятор уровня жидкости в сосуде, сконструированный И. И. Ползуновым. В дальнейшем, благодаря использованию обратной связи, стало возможным и точное управление боевой ракетой, и высококачественное радиовещание, и множество других современных «чудес».

В биологии наличие обратной связи в живых организмах долгое время ускользало от внимания исследователей. Так, еще в начале текущего столетия великий русский физиолог И. П. Павлов понимал рефлекс как однонаправленный акт, состоящий в появлении определенной реакции на определенный раздражитель. В датированной 1911 годом работе харьковского врача Н. А. Белова промелькнула мысль о важной роли отрицательной обратной связи («обратного построения») в жизнедеятельности человеческого организма. Но лишь в 1935 г. П. К. Анохин сформулировал основные положения созданной им «теории функциональной системы», базирующейся на представлении о наличии в живой системе обратной связи («обратной афферентации») и контролирующего элемента («акцептора результатов действия», или измерителя ошибки), сличающего действительный результат деятельности системы с ожидаемым и формирующего команды, направленные на устранение несоответствия между ними. Все перечисленные элементы содержатся в обобщенной схеме одноконтурной системы регулирования с обратной связью, изображенной на рис. 43. Таблица 19 содержит примеры систем управления с обратной связью.

Тренажеры с обратной связью без срочной информации о результате действия

В современном спорте представлены прежде всего видеомангитофонами.

В настоящее время наиболее широко применяются двухголовочные наклонно-строчные видеомagnитофоны, позволяющие выполнять «стоп-кадр» и замедленное воспроизведение изображения. Такими возможностями обладают видеомagnитофоны, выпускаемые фирмами «СОНИ», «АКАЙ» (Япония), и некоторые из отечественных видеомagnитофонов. Последние модели видеомagnитофонов весят менее четырех килограммов и позволяют записывать и воспроизводить цветное изображение, что делает видеомagnитную запись еще более привлекательной для тренеров и спортсменов.

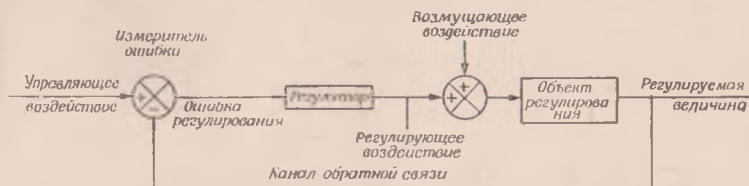


Рис. 43. Обобщенная схема одноконтурной системы автоматического регулирования с обратной связью.

В спорте видеомagnитофоны применяются для записи и многократного воспроизведения на экране действий спортсменов. Благодаря видеозаписи оказывается возможным тщательный и объективный анализ техники и тактики отдельных спортсменов и команды в целом. Большую помощь видеозапись приносит и в судействе соревнований, позволяя многократно воспроизвести на экране спортивную ситуацию и принять окончательное решение на основании объективных данных.

Видеомagnитофон служит мощным обучающим средством, поскольку обеспечивает спортсмену получение информации о его действиях. Информация эта не является «срочной»: она сообщается спортсмену не в момент выполнения упражнений, а спустя значительное время. И хотя видеомagnитофоны по своему быстрдействию значительно превосходит кино- и фототехнику, они уступают в этом отношении тренажерам с обратной связью и срочной информацией о результате действий.

* Видеомagnитофон полезен не только спортсмену, но и тренеру-преподавателю стремящемуся повысить свою квалификацию. Автор многократно использовал видеомagnитофон на своих лекциях, и это привело (и по субъективному впечатлению, и по результатам объективного контроля — Л. VIII—41) к заметному повышению качества лекций.

Примеры систем управления с обратной связью

Название системы	Эталонная величина	Ошибка	Регулятор	Регулирующее воздействие	Объект регулирования	Регулируемая величина	Канал обратной связи
Система программированного регулирования частоты сердечных сокращений (система «спортсмен-кардиолидер»)	Электрические импульсы, длительность которых равна запрограммированной длительности сердечного цикла	Разность между наблюдаемой и запрограммированной длительностью сердечного цикла	Слуховой анализатор, головной мозг и мышцы спортсмена	Сигналы, поступающие к сердцу от работающих мышц по цепям нервной и гуморальной регуляции	Водитель ритма сердца	Частота сердечных сокращений (или длительность сердечного цикла)	Электрическое поле сердца — электроды-усилители электрокардиограммы
Система спортсмен-тренер	Намеченный результат спортсмена	Разница между намеченным и достигнутым результатом	Тренер	Советы и рекомендации тренера спортсмену	Спортсмен	Результат, достигнутый спортсменом	Наблюдения тренера
Простейшая система управления движением спортсмена (по В. Б. Коренбергу, 1970)	Желаемый результат движения	Разница между намеченным и достигнутым результатом	Центральная нервная система (ЦНС)	Эффекторный сигнал из ЦНС к мышцам	Мышцы спортсмена	Движение спортсмена; количественные характеристики движений	Экстерорецепторы и афферентные нервные пути, соединяющие рецепторы с ЦНС

Тренажеры с обратной связью и срочной информацией для физической подготовки спортсменов

Отличительной особенностью тренажеров этого класса служит наличие в составе тренажера быстродействующего измерительного прибора, который автоматически измеряет интересующие нас показатели и преобразует результат измерения в удобную для восприятия форму. По-видимому, первые тренажеры с обратной связью и срочной информацией — «велоэргометры» появились в начале текущего столетия в Скандинавии. Первоначально велоэргометры предназначались для дозированных физических упражнений домохозяек в домашних условиях и лишь затем стали применяться при врачебном контроле за спортсменами. Велоэргометры обычно оснащаются устройством для дозирования силы соприкосновения педалей и устройством для измерения темпа вращения педалей. Таким образом, удается дозировать, измерять и точно поддерживать на заданном уровне выполняемую спортсменом работу и развиваемую мощность. Наибольшую популярность сегодня заслужили механические велоэргометры «Мопагк» (Швеция) и электрические велоэргометры производства как отечественных, так и иностранных фирм.

В механических велоэргометрах нагрузка задается изменением темпа вращения педалей (n) и изменением силы (F), тормозящей вращение колеса с радиусом r . Мощность нагрузки рассчитывается по формуле

$$N \left(\frac{\text{кПМ}}{\text{мин.}} \right) = F \cdot 2\pi r n k$$

где $2\pi r$ — длина окружности колеса; k — коэффициент, характеризующий трение колеса о тормозное приспособление (чаще всего — ремень).

В велоэргометре «Мопагк» $r=0,25$, $k=3,7$. Вычислим для примера мощность нагрузки при величине силы $F=2$ кп

и темпе педалирования $n=60 \frac{1}{\text{мин}}$:

$$N = 2 \times 6,28 \times 0,25 \times 60 \times 3,7 = 700 \frac{\text{кП} \cdot \text{М}}{\text{мин}}$$

При работе на электрическом велоэргометре никакого специального расчета мощности производить не нужно. Нагрузка устанавливается специальным переключателем со шкалой, проградуированной в единицах мощности.

Все большее распространение в спорте и лечебной физкультуре получают тредбаны для исследования и тренировки бегунов. Точное измерение объема и интенсивности выполненной спортсменом работы в этом случае затруднено. Но возможность наблюдения за бегущим и вместе с тем неподвиж-

ным относительно тренера спортсменом интересна тем, что в этих условиях тренер может тщательно проанализировать технику бега, а при необходимости — дополнить свои наблюдения результатами измерения биомеханических и физиологических показателей бегуна. Интересно, что движения и энерготраты бегуна при беге на тредбане не отличаются существенно от таковых в реальных условиях бега (Л. VIII—43).

В последние годы подобные тренажеры стали появляться и в других видах спорта. Создан водный тредбан («гидродинамический бассейн») для пловцов, в котором пловец плывет навстречу струе воды в прозрачной ванне, а тренер, стоя рядом с ванной, дает указания или записывает его движения на видеоманитофон. Разрабатываются и уже демонстрируются на выставках тредбаны для лыжников-гонщиков и горнолыжников. Но самый яркий пример тренажера с обратной связью и срочной информацией — кардиолидер, сигнализирующий спортсмену о том, что частота сердечных сокращений у него равна заданной тренером программе, выше ее или ниже (Рис. 44 и Л. VIII—32, 35, 36, 42, 45).

Работая с кардиолидером, спортсмен вместо традиционных заданий «пройти три круга вполсилы», «один круг в «полную силу» и т. п., получает задание «пройти три круга с частотой пульса 160 уд/мин» или «работать 5 минут с частотой пульса 180 уд/мин». Такой формулировкой своих заданий тренер добивается:

1) целенаправленности задания, нацеленности его на совершенствование строго определенных физиологических механизмов спортсмена — именно тех механизмов, которые в первую очередь нужны спортсмену данной специализации (спринтер уделит больше внимания тренировке с частотой пульса 180 уд/мин и выше, а марафонец — с частотой пульса 150—180 уд/мин);

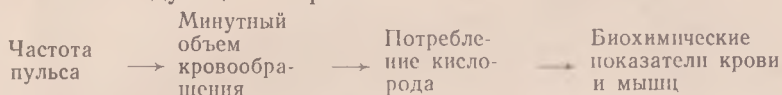
2) учета сегодняшнего, сиюминутного состояния спортсмена, причем это достигается автоматически, самой формулировкой задания и избавляет тренера от докучливых распросов о состоянии здоровья, поддержании режима и т. д.;

3) и, наконец, работая с кардиолидером, спортсмен защищен от перенапряжения сердца, которое нередко возникает в результате нерациональных, бесконтрольных, «без обратной связи» занятий физическими упражнениями.

В последнее время метод кардиолидирования стали использовать не только в беге, лыжах, коньках, велоспорте и других циклических видах спорта, но и в игровых видах спорта. Кардиолидер для игровиков отличается тем, что в нем программируется не строго определенная частота пульса, а зона частот пульса, например, от 130 до 150 уд/мин., от 150 до 180 уд/мин. и

от 180 до 200 уд/мин. Необходимость такой модификации обусловлена тем, что, как показали исследования В. И. Бондина, спортсмен во время игры не способен участвовать в игровых ситуациях, выполнять тактически верные действия и в то же время поддерживать частоту сердечных сокращений на строго определенном уровне. Поддерживать же частоту пульса в пределах зоны удастся с успехом, причем конкретная форма задания с кардиолидером зависит от вида спорта и от амплуа игрока. Так, футболисту следует планировать большие объемы работы при пульсе 150—180 уд/мин., а хоккеисту — при пульсе 180—200 уд/мин.

Дальнейшее развитие идеи кардиолидирования могло бы быть связано с расширением круга программируемых физиологических показателей. Если расположить наиболее популярные сегодня показатели функционального состояния спортсмена по степени повышения их информативности, то представится следующая картина:



Частота пульса является, таким образом, наименее информативным из перечисленных показателей. И действительно, коэффициент корреляции между данными пульсометрических тестов и результатами спортсменов на соревнованиях редко поднимается выше 0,7 (Mécota, 1973). Но частота сердечных сокращений имеет важнейшее на сегодняшний день преимущество — доступность. По существу, частота пульса — единственный физиологический показатель, который удается с высокой точностью регистрировать и программировать во всех без исключениях видах спорта и при нагрузках любой интенсивности. Нет сомнения в том, что по мере усовершенствования аппаратуры спорт получит приборы, которые позволят распространить опыт кардиолидирования и на другие показатели жизнедеятельности спортсмена. Уже сегодня рекламируются радиотелеметрические системы, предназначенные для непрерывного измерения и дистанционной регистрации потребления кислорода у спортсмена.

Другая возможность модификации метода кардиолидирования заключена в использовании идеи многоконтурного регулирования показателей состояния спортсмена. Многоконтурный тренажер позволяет программировать не один, а два или три показателя одновременно. К примеру, наряду с частотой пульса может программироваться темп движений, величины развиваемых сил, выполняемая работа, затрачиваемая энергия. Если тренировку без тренажера можно сравнить со стрельбой без прицеливания, а тренировку с кардиолиде-

ром и другими одноконтурными тренажерами — со стрельбой с прицеливанием по одной координате, то тренировка с многоконтурным тренажером — это стрельба с высокой точностью, когда определяется несколько координат цели, и выстрел производится с помощью автоматизированной системы наведения.

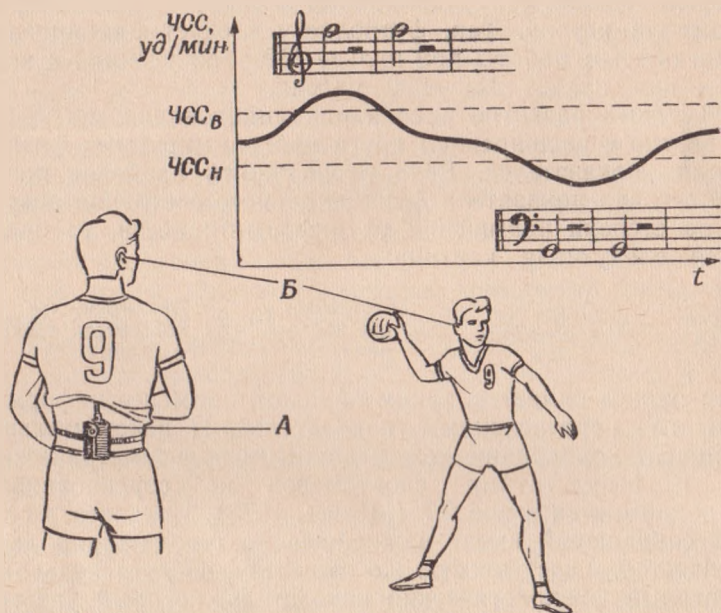


Рис. 44. Принцип работы и внешний вид кардиолидера

А — кардиолидер с фиксирующим поясом

Б — головной телефон-наушник

ЧСС_в и ЧСС_н — верхняя и нижняя границы запрограммированной зоны частоты сердечных сокращений (ЧСС)

Сплошная линия — график изменения ЧСС при физической работе

При ЧСС > ЧСС_в в наушнике слышен звук высокого тона

При ЧСС < ЧСС_н — звук низкого тона

Тренажеры с обратной связью и срочной информацией для технической подготовки спортсменов

В основе наиболее совершенных тренажеров для технической подготовки спортсменов лежит принцип обратной связи. Однако применение принципа обратной связи на практике в данном случае имеет свои особенности. Роль эталонной величины, к поддержанию или достижению которой должен стремиться спортсмен, в тренажерах для обучения технике

движений может играть как величина какого-то одного показателя (сила, скорость, ускорение, траектория), так и кривая изменения одного показателя в зависимости от другого. Автору приходилось наблюдать тренировку гребцов-академистов в гребном бассейне, превращенном в тренажер для обучения правильной технике гребли. По предложению заслуженного мастера спорта, чемпиона Европы А. П. Ткачука у каждого гребца измеряется прикладываемая к веслу сила и горизонтальное перемещение лопасти весла. Измеренные величины преобразуются в электрическую форму и подаются на электронный осциллоскоп, где в виде замкнутой кривой высвечивается график зависимости силы от перемещения весла. Площадь внутри кривой пропорциональна работе, выполненной гребцом в одном цикле гребли:

$$A = \int_0^T F(t) S'(t) dt,$$

где A — работа за цикл гребли, F — сила, прикладываемая гребцом к веслу, S' — скорость изменения горизонтальной координаты весла, T — продолжительность цикла гребли, t — время.

Ошибка регулирования в данном случае определяется площадью, заключенной между линией-эталоном и реально наблюдаемой у данного спортсмена зависимостью между силой и перемещением весла. Многие важные задачи тренерской практики: контроль за специальной физической подготовленностью, обучение рациональной технике движений, отбор спортсменов и комплектование команд — могут решаться с помощью такого тренажера значительно более эффективно, чем без него.

Структура рассмотренного выше тренажера типична для многих тренажеров с обратной связью, применяемых в различных видах спорта — легкой атлетике, тяжелой атлетике, гимнастике, стрельбе, велоспорте и т. д. Конечно, при обучении разным движениям приходится программировать разные биомеханические показатели. Но принцип обратной связи и измерительные устройства для получения срочной информации о движениях спортсмена неизменно используются во всех наиболее перспективных тренажерах для технической подготовки.

Иногда цепь обратной связи в тренажере принимает весьма своеобразную форму. Так, И. П. Ратов получил авторское свидетельство за «полимиофоническую установку» (Л. VIII—26). Установка служит тренажером со звуковой индикацией качества движений и состоит из электродов для съема биопо-

тенциалов мышц, преобразователей сигналов электромиограммы в звуки громкоговорителя. Электромиограммы мышц преобразуются в звуковые сигналы, и возникает «мелодия движения». Обучающийся спортсмен стремится к такой мелодии движения, которая возникает при выполнении упражнений высококвалифицированным спортсменом. В лаборатории И. П. Ратова разработан и еще один тренажер с биоэлектрическим управлением. Индикатором в нем служит система разноцветных лампочек, и при движении спортсмена возникает «цветовая мелодия».

Все рассмотренные биомеханические тренажеры пригодны в первую очередь для обучения начинающих, когда проблема эталона не встает: эталоном для новичка служит техника движения мастера. Но что считать эталоном, если стоит задача улучшить технику высококвалифицированного спортсмена? Какой вариант техники движений наиболее выгоден для каждого отдельно взятого спортсмена с его индивидуальными, только ему присущими особенностями?

В работе В. М. Зацюрского и Као Ван Тхы (1971) говорится о трех основных группах показателей эффективности спортивной техники, основанных: 1) на сравнении характеристик движения, выполненного спортсменом, с некоторым биомеханическим эталоном; 2) на сопоставлении спортивного результата спортсмена с его потенциальными энергетическими возможностями и 3) на сопоставлении техники движений спортсменов высокой и низкой квалификации. Думается, что аналитический путь отыскания рациональной техники движений в ближайшие годы не станет достоянием практики, поскольку математическое моделирование движений — очень сложный процесс, осуществимый лишь с помощью быстродействующих электронно-вычислительных машин. Энергетические критерии — ближе к практике. В этом случае ставится вопрос об отыскании такого варианта техники движений, при котором энерготраты спортсмена минимальны. При отыскании оптимальной в энергетическом отношении техники движений одновременно измеряют полезную работу и затраченную энергию, и таким образом процедура исследования оказывается достаточно трудоемкой и доступной лишь хорошо оснащенным лабораториям. Решением проблемы эталона на практике может явиться многоконтурный тренажер (Л. VIII—34), в котором одновременно программируются показатели полезной выполненной работы (например, работа, выполняемая веслом как двигателем гребного судна) и показатель энерготрат спортсмена (например, потребление кислорода или частота пульса). Кроме того, измеряется интегральный показатель эффективности действий гребца — например, скорость лодки (рис. 45 Б). При обучении на многоконтурном тренаже-

ре спортсмен вначале учится соотносить свои действия с заданной программой. А затем, научившись поддерживать на заданном уровне одновременно два показателя, испробует разные варианты техники движений. Индивидуально-оптимальным может считаться тот вариант техники движений, который обеспечивает спортсмену наибольшую скорость передвижения по дистанции при заданных энергозатратах. Примером многоконтурного тренажера может служить «лодка-лаборатория» (рис. 45), — гребное академическое судно, оснащ-

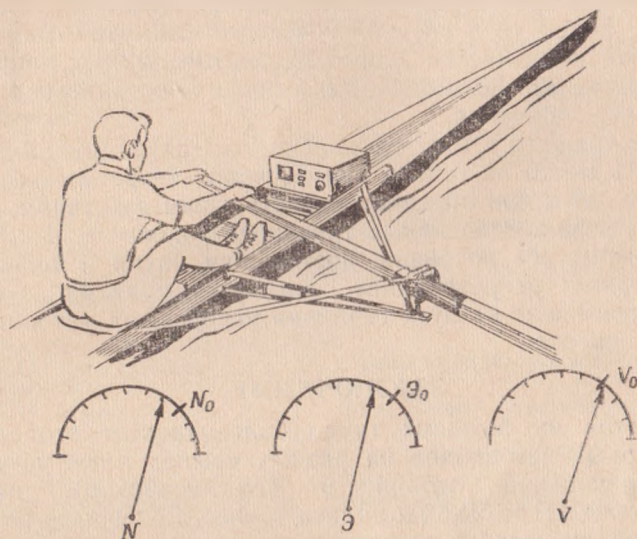


Рис. 45. «Лодка лаборатория» — многоконтурный гребной тренажер:
 А — внешний вид гребного судна, оснащенного измерительной аппаратурой,
 Б — к идее способа отыскания индивидуально — оптимального
 варианта техники циклических движений,
 N — «внешняя» нагрузка, Э — энергозатраты спортсмена,
 V — скорость лодки.

ное измерительной аппаратурой. С помощью «лодки-лаборатории» в настоящее время проводится экспериментальная проверка вышеописанного способа отыскания индивидуально-оптимального варианта техники движений.

В заключение главы хотелось бы сказать о тех перспективах, которые открываются перед спортивной педагогикой в связи с переходом ее к новым, нетрадиционным методом обучения.

Хорошо известно, что современный человек при всех его достижениях использует очень незначительную часть своих физических и психических возможностей. Опыты с гипнозом,

прыжок Биммона, демонстрации йогов лишь отчасти приоткрывают завесу, скрывающую от нас истинные возможности человека. Это — с одной стороны. А с другой — лавинообразный рост информации, которую должен усваивать, запоминать современный человек и, в первую очередь, учащийся.

Не случайны поэтому настойчивые попытки ученых найти новые пути обучения. Одним из родоначальников науки об ускоренном обучении — суггестологии — явился болгарский ученый-психиатр Г. Лозанов (Л. VIII—16), много труда посвятивший изучению «сверхзапоминания». И в нашей стране, и за рубежом продолжают исследования условий сверхзапоминания, поиск того «психологического климата», при котором любой практически здоровый человек может, например, запомнить не 20—30, а 200—300 и более иностранных слов за один сеанс обучения.

Автор убежден в том, что явление «сверхзапоминания» может иметь место не только при обучении теоретическим дисциплинам, но и при обучении двигательным действиям. И известные сегодня спортивные тренажеры, даже те, в которых использованы все новейшие достижения науки и техники, — многотурное регулирование, электростимуляция и т. д. — лишь первый шаг на пути создания ускоренных методов обучения в спорте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на большой труд (более трехсот отобранных литературных источников на разных языках плюс результаты исследований автора и его учеников), настоящее пособие могло бы быть полнее, точнее, доходчивее. Ограниченный объем пособия не позволил включить в него такие интересные и нужные разделы, как методика измерения физических качеств спортсмена, оптимальное планирование эксперимента, методы экспертных оценок и другие методы квалиметрии, методы математического программирования и оптимизации.

Может быть, оправданием автору послужит то обстоятельство, что это пособие — первый опыт систематического изложения основ спортивной метрологии во всем ее многообразии — от теории вопроса до практических приложений. И чем строже будет критика, чем больше замечаний, поправок, дополнений и просто товарищеских советов получит автор, тем более полной будет его благодарность коллегам и читателям. Спортивная метрология еще очень молода, просторы ее необозримы, и поднять эту целину можно лишь совместными усилиями многих специалистов. Так пусть «Измерения» станут одним из кирпичиков великолепного здания, имя которому — физическое совершенство человека!

ЛИТЕРАТУРА

к главе I «Основы метрологии»

- I—1. Бабский Е. Б. Зубков А. А. Косицкий Г. И. Ходоров Б. И. Физиология человека. М. «Медицина», 1966.
- I—2. Бейли Н. Статистические методы в биологии. М. «Мир», 1963.
- I—3. Бурдун Г. Д. Калашников Н. В. Стоцкий Л. Р. Международная система единиц. М. «Высшая школа», 1964.
- I—4. Винер Н. Я — математик. М. «Наука», 1967.
- I—5. Донской Д. Д. Биомеханика с основами спортивной техники. М. «Физкультура и спорт», 1971.
- I—6. Зайдель А. Н. Ошибки измерения физических величин. Л. «Наука», 1974.
- I—7. Зациорский В. М. Бондаревский Е. Я. Петросян А. Н. Проблема оценки спортивных достижений. (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1975.
- I—8. Иванова В. М., Калинина В. Н., Нешумова Л. А., Решетникова И. О. Математическая статистика. М. «Высшая школа», 1975.
- I—9. Карпман В. Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. М. «Медицина», 1965.
- I—10. Коц Я. М., Фарфель В. С. Физиология человека. М. «Физкультура и спорт», 1970.
- I—11. Ландсберг Г. С. Элементарный учебник физики. М. «Наука», 1973.
- I—12. Масальгин Н. А. Математико-статистические методы в спорте. М., «Физкультура и спорт», 1974.
- I—13. Моно Г. Энергетические затраты у человека. В кн. Шерпер Ж. Физиология труда. М. «Медицина», 1973, 125—169.
- I—14. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, Изд. БГУ, 1968.
- I—15. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М. «Наука», 1971.
- I—16. Решлён М. Измерения в психологии. В кн. Фресс П., Пиаже Ж. «Экспериментальная психология», вып. I—II. М. «Прогресс», 1966. 195—238.
- I—17. Стивенс С. С. Математика, измерение и психофизика. В кн. «Экспериментальная психология», т. I. М. Изд-во иностр. лит. 1960, 19—89.
- I—18. Столяров И. А. Переход от одной системы единиц к другой. «Квант» № 4, 1974, 52—56.
- I—19. Уткин В. Л. Биометрия — новая учебная дисциплина в институтах физической культуры. «Теория и практ. физич. культ.» № 9, 1975. 58—61.
- I—20. Уткин В. Л. Основы метрологии (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1974.
- I—21. Хендель А. Основные законы физики. М. Гос. изд-во физ. мат. лит., 1963.
- I—22. Хилл А. Механика мышечного сокращения. М. «Мир», 1972.
- I—23. Ядов В. А. Методология и процедуры социологических исследований. Тарту, 1968.
- I—24. Яковлев Н. И. Биохимия спорта. М. «Физкультура и спорт», 1974.

1—25. Ярмицкий Ю. Д. Психофизическое шкалирование интенсивности мышечной работы как основа оптимизации программированной тренировки по пульсу. Дисс. канд. М. 1972.

1—26. Бородкин Ф. М. Корреляционный анализ в социологических исследованиях. В кн. «Количественные методы в социологии» М. «Наука», 1966. 93—136.

1—27. Журавлев Г. Т. Корреляционный анализ в социальном исследовании. В сб. «Социальные исследования» М. «Наука», 1965, 109—117.

1—28. Здравомыслов А. Г. Методология и процедуры социологических исследований. М. «Мысль», 1969.

1—29. Юл Дж., Кендалл М. Теория статистики. М., Госстатиздат, 1960.

1—30. Яноши Л. Теория и практика обработки результатов измерений. М. «Мир», 1968.

к главе II «Принципы спортивных измерений»

II—1. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М. «Медицина», 1975.

II—2. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. Сб. «Принципы системной организации функций». М. «Наука», 1973, 5—61.

II—3. Бернштейн Н. А. Исследования по биомеханике ходьбы, бега, прыжка. М. «Физкультура и спорт», 1940.

II—4. Бернштейн Н. А. Предисловие к кн. «Моделирование в биологии» М. Изд-во иностр. лит., 1963.

II—5. Бессмертный Б. С. Математическая статистика в клинической, профилактической и экспериментальной медицине. М. «Медицина», 1967.

II—6. Бирюков В. В. Кибернетика и методология науки. М. «Наука», 1974.

II—7. Блауберг И. В., Юдин Э. Г. Становление и сущность системного подхода. М. «Наука», 1973.

II—8. Вайнбаум Я. С., Аскеров А. А. Степ-тест с субмаксимальной нагрузкой для оценки физической работоспособности. «Теория и практ. физ. культ.» № 2, 1970. 26—28.

II—9. Винер Н. Кибернетика. М. «Советское радио», 1968.

II—10. Волков Н. И. Биохимический контроль в спорте: проблемы и перспективы. «Теория и практ. физ. культ.» № 11, 1975, 28—37.

II—11. Волков Н. И. Об энергетических критериях работоспособности спортсменов. Сб. «Биоэнергетика». Л. 1973, 18—30.

II—12. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике. М. «Наука», 1976.

II—13. Гласс Дж., Стэпли Дж. Статистические методы в педагогике и психологии. М. «Прогресс», 1976.

II—14. Голубничий Н. И., Зайцев Г. Ф., Иващенко М. А., Чинаев П. И., Чумаков Н. М. Беседы по автоматике. Киев, «Техника», 1971.

II—15. Гродин Ф. Теория регулирования и биологические системы. М. «Мир», 1966.

II—16. Гросс Х. Х., Донской Д. Д. Техника лыжника-гонщика. М. «Физкультура и спорт», 1971.

II—17. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М. «Статистика», 1973.

II—18. Езекиел М., Фокс К. Методы анализа корреляций и регрессий. М. «Статистика», 1966.

II—19. Ердаков С. В. Об устойчивости двигательных навыков в циклических видах спорта «Теория и практика физ. культ. № 8, 1972, 14—15.

II—20. Зайцева Л. С. Исследование биодинамических структур ударного действия в теннисе и морфофункциональных предпосылок индивидуализация его выполнения. Дисс. канд. М. 1974.

II—21. Зациорский В. М. Физические качества спортсмена. М. «Физкультура и спорт», 1970.

II—22. Зациорский В. М. Кибернетика, математика, спорт. М. «Физкультура и спорт», 1969.

II—23. Зациорский В. М., Булгакова Н. Ж. Теоретические основы спортивной ориентации (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1974.

II—24. Зельдович Я. Б. Высшая математика для начинающих и ее приложение к физике. М. «Наука», 1970.

II—25. Карпман В. Л., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. Исследование физической работоспособности у спортсменов. М. «Физкультура и спорт», 1974.

II—26. Карпман В. Л., Лиошенко В. Г., Уткин В. Л. Изменение активности водителя ритма сердца при интенсивной мышечной работе. Физиологический журнал СССР им. Сеченова, 1971, № 11, 1685—1689.

II—27. Карпман В. Л., Ольм Т. Э. Применение понятий многомерного пространства в диагностике тренированности спортсменов «Теория и практ. физ. культ.» № 3, 1974, 26—28.

II—28. Кару Т. Э. Приложение корреляционного анализа при изучении воздействия повторных силовых нагрузок на гемодинамику у юных спортсменов. Канд. дисс. Тарту, 1966.

II—29. Кендалл М. Методы ранговой корреляции. М., «Статистика», 1974.

II—30. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М. «Наука», 1973.

II—31. Месарович М. Теория систем и биология. В кн. «Теория систем и биология». М. «Мир», 1971, 90—128.

II—32. Миллс Ф. Статистические методы. М. «Статистика», 1962.

II—33. Милсум Д. Анализ биологических систем управления. М. «Мир», 1968.

II—34. Михайлов В. В. Исследование двигательной и дыхательной функций при стационарных и нестационарных режимах в циклических движениях. Докторская диссертация. М. 1971.

II—35. Налимов В. В. Теория эксперимента. М. «Наука», 1971.

II—36. Ордынцев В. М. Математическое описание объектов автоматизации. М. «Машиностроение», 1965.

II—37. Портер У. Современные основания общей теории систем. М. «Наука», 1971.

II—38. Рафалес-Ламарка Э. Э., Николаев В. Г. Некоторые методы планирования и математического анализа биологических экспериментов. Киев «Наукова думка», 1971.

II—39. Розенблат В. В. Проблема утомления. М. «Медгиз», 1961.

II—40. Смирнов Ю. И., Шарабарова И. Н., Абсальмова И. В. Комплексная оценка качественных показателей трудности исполнения различных элементов в фигурном катании. «Теория и практ. физ. культ.» № 1, 1977, 5—12.

II—41. Тер-Ованесян И. А. Исследование некоторых путей индивидуализации тренировочного процесса у спортсменов высокой квалификации. Дисс. канд. М. 1971.

II—42. Уткин В. Л. Исследование функциональных свойств систем, регулирующих сердечную деятельность при физических нагрузках. Дисс. канд. М. 1971

II—43. Уткин В. Л. Анализ систем и тестирование спортсменов (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1975.

II—44. Уткин В. Л. Моделирование физиологических и биомеханических систем (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1975.

II—45. Уткин В. Л. Элементы теории кибернетических систем (лекция для студентов). М. ГЦОЛИФК, 1974.

II—46. Уткин В. Л., Жукова Л. Н., Павлов В. С. К определению физической работоспособности спортсмена методом линейно-нарастающей нагрузки. Труды XII Всесоюзной научной конференции по физиологии, морфологии, биомеханике и биохимии мышечной деятельности. Львов, 1972, 42—43.

II—47. Фресс П. Экспериментальный метод. В кн. Фресс П. и Пиаже Ж. «Экспериментальная психология» вып. I и II М. «Прогресс», 1966, 99—155.

II—48. Харкевич А. А. Спектры и анализ. М.-Л., Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1952.

II—49. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М. «Наука», 1968.

II—50. Чепик В. Д., Уткин В. Л. Многоконтурное автоматическое регулирование тренировочных нагрузок в спорте. «Теория и практик. физ. культ.» № 11, 1974, 61—67.

II—51. Шпильберг Г. З. Опыт изучения явлений утомления циклограмметрической методикой. «Гигиена, безопасность и патология труда», 1931, № 4, 21—34.

II—52. Шумаков В. И., Новосельцев В. Н., Сахаров М. П., Штенгольд Е. Ш. Моделирование физиологических систем организма. М. «Медицина», 1971.

II—53. Эшби У. Р. Конструкция мозга. М. «Мир», 1964.

II—54. Окунь Я. Факторный анализ. М. «Статистика», 1974.

II—55. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1964.

II—56. Карпман В. Л., Бершадский М. Г., Ефимова Е. Д. Частотные характеристики кардиореспираторной системы В кн. «Проблемы общей и клинической физиологии сердечно-сосудистой системы». Киев, «Наукова думка», 1976.

II—57. Глушков В. М. Введение в АСУ. Киев, «Техника», 1974

II—58. Карневич Ф. И., Садовский Л. Е. Элементы линейной алгебры и линейного программирования. М. «Физматгиз», 1963.

II—59. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М., «Наука», 1970.

II—60. Beneken I. E. W. Investigation of the regulation system of the blood circulation. Circulatory analog computers Amsterdam, 1963. 16—27.

II—62. Донской Д. Д. Биомеханика. М., «Просвещение», 1975.

II—62. Defares I. G. Examples of cardiovascular models simulation of the cardiovascular system. J. Chronic, Dis. 1966, 19, 4: 401—410.

II—63. Hollann W. Höchst und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers. München, 1963.

II—64. Müller E. A. Ein Leistungspulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit. «Arbeitsphysiol». № 14, 1950, 271.

II—65. King A. I., Chou C. C. Mathematical modelling simulation and experimental testing of biomechanical system crash response. J. Biomechanics 1976 v. 9: 301—317.

II—66. Plagenhof S. C. Patterns of Human Motion. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs. New Jersey, 1971.

II—67. Sjostrand T. Changes in the respiratory organs of workmen at on ore smelting works. Acta Med. Scand. 1947, 196: 687—699.

II—68. Wahlund H. Determination of physical working capacity. Acta Med. Scand. 1948, 215:132.

II—69. Novak A. Verarbeitung von biomechanischen Informationen durch die Detektionsphotomethode Biomechanics I I-st Int. 33—36.

II—70. Фарфель В. С. Выносливость и спортивное утомление на дистанции. «Теория и практ. физ. культ.», № 1, 1969, 43—47.

II—71. Donskoi D. Control Exercised over the Reconstruction of the Movements System. Medicine and Sport, vol. 8: Biomechanics III 124—128 (Karger-Basel 1973).

к главе III «Пути повышения точности спортивных измерений»

III—1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. «Наука», 1976.

III—2. Азгальдов Г. Г., Райхман Э. П. О квалиметрии. М. Изд-во стандартов. 1973.

III—3. Алёшинский С. Ю., Зациорский В. М. Определение межзвенных моментов и внутренних сил, возникающих при движении человека. «Теория и практ. физ. культ.» 1974, № 11, 5—9.

III—4. Аулик И. В. Определение индекса гарвардского степ-теста. «Теория и практ. физ. культ.» № 8, 1973, 27—29.

III—5. Ашмарин Б. А. Методика педагогических исследований в физическом воспитании. Л., Изд-во ЛОГПИ им. А. И. Герцена, 1973.

III—6. Бондаревский Е. Я. Надежность тестов, используемых для характеристики моторики человека. «Теория и практ. физ. культ.» 1970, № 5, 15—18.

III—7. Бубе Х., Фэк Г., Штюблер Х., Трогш Ф. Тесты в спортивной практике. М. «Физкультура и спорт», 1968.

III—8. Ван дер Варден Б. Л. Математическая статистика. М., Изд. иностр. лит. 1960.

III—9. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М., «Статистика», 1974.

III—10. Волков Н. И. Энергетический обмен и работоспособность человека в условиях напряженной мышечной деятельности. Дисс. канд. М. 1968.

III—11. Всеволодов И. В. Экспериментальное обоснование системы педагогического контроля скоростно-силовой подготовленности теннисистов. Дисс. канд. М. 1969.

III—12. Годик М. А., Шанина Т. А., Шитикова Г. Ф. О методике тестирования физического состояния детей. «Теория и практ. физ. культ.» № 8, 1973, 32—35.

III—13. Гуревич К. М. О надежности психофизиологических показателей. «Проблемы дифференциальной психофизиологии» т. VI, М., «Просвещение», 1969, 266—274.

III—14. Белоцерковский З. Б., Карпман В. Л., Кириллов А. А. Исследование физической работоспособности с помощью специфических нагрузок. «Теор. и практ. физ. культ.», 1977, № 4, 25—28.

- III—15. Зациорский В. М., Годик М. А., Ярмуль-ник Д. Н. Теоретические основы и практические пути применения математических методов для оценки специальной физической подготовленности спортсменов. «Теория и практ. физ. культ.», № 2, 1964, 33—37.
- III—16. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., «Высшая школа», 1973.
- III—17. Фишер Р. А. Статистические методы для исследователей. М., Госиздат, 1958.
- III—18. Туманян Г. С., Коблев Я. К. Выносливость: как ее измерять? «Теория и практ. физ. культ.», 1973, № 6, 59—61.
- III—19. Хальд Г. Математическая статистика с техническими приложениями. М. Изд. иностр. лит. 1956.
- III—20. Хьютсон А. Дисперсионный анализ. М. «Статистика», 1971.
- III—21. Чинь Чунг Хнеу, Смирнов Ю. И., Шлёмин А. М. Оценка валидности некоторых тестов силовой подготовленности юных гимнастов. «Теория и практика физ. культ.» № 5, 1971, 43—45.
- III—22. Яхонтов Е. Р. О формализации некоторых объективно не измеряемых признаков в спорте. «Теория и практика физ. культ.», № 8, 1966, 34—35.
- III—23. Alexander H. W. A General Test for Trend. Psychological Bulletin XLIII, 1946. 533—557.
- III—24. Alexander H. W. The Estimation of Reliability When Several Trials Are Available. Psychometrika, 1974, 79—99.
- III—25. Boward I. Test and Measurements in Physical Education Philadelphia — London, Saunders, 1949.
- III—26. Feldt L. S., Mckee M. E. Estimation of the Reliability of Skill Tests. Research Quarterly XXIX, 1958, 279—293.
- III—27. Fiske D. W., Rice L. Intra-Individual Response Variability Psychological Bulletin, LII, № 3, 1955, 217—250.
- III—28. Guilford J. P. Podstawowe metody statystyczne w psychologii i pedagogice. Wydanie drucie Warszawa 1964. Państwowe wydawnictwo naukowe.
- III—29. Henri F. M. Reliability, Measurement Error, and Intra — Individual Difference. Research Quarterly, XXX, № 1, 1959, 21—24.
- III—30. Henri F. M. Individual Differences in Motor Learning and Performance in Psychology of Motor Learning, ed L. E. Smith Chicago: The Athletic Institute, 1970, 243—256.
- III—31. Hepp F., Nadori L. Bevezetes a tudomanyos, Budapest, 1971, Rutatasba.
- III—32. Lersten K. C. Inter — and Intra Individual Variations during the Progress of Motor Learning. Research Quarterly, XXXIX, № 4 1968, 1013—1019.
- III—33. Liba M. A Trend Test as a Preliminary to Reliability Estimation. Research Quarterly XXXIII, 1962, 245—248.
- III—34. Marteniuk R. G. Individual Differences in Intra — Individual Variability. Journal of Motor Behavior, I, № 4, 1969, 309—318.
- III—35. Měkota K. Mereni a testy v antropomotorice I, II dil., Olomous, 1973.
- III—36. Safrit M. J. Evaluation in physical education, Prentice — hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- III—37. Урбах В. Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. Изд-во АН СССР, М., 1963.
- III—38. Урбах В. Ю. Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях. М., «Медицина», 1975.
- III—39. Гесселевич В. А. (сост.) Медицинский справочник тренера М., «Физкультура и спорт», 1977.
- III—40. Barrow H. M., McGee P. A Practical Approach to Measurement in Physical Education. Philadelphia: Lea and Febiger, 1964.

III—41. Mathews D. K. Measurement in Physical Education. Philadelphia — London. Saunders Company, 1964

III—42. Müller-Deck H. Weitere Probleme der Validität und ihrer Bestimmung bei sportlichen Test «Theorie und Praxis der Körperkultur» № 5, 1970, 424—431.

к главе IV «Датчики информации о спортсмене»

IV—1. Абалаков В. М. Новая аппаратура для изучения спортивной техники. М., ФИС, 1960.

IV—2. Акулиничев И. Т., Баевский Р. М., Зазыкин К. П., Фрейдель В. Р. Радиозлектроника в космической медицине. М.-Л., «Энергия», 1964.

IV—3. Алиханов С. И. Исследование нападающих ударов в волейболе методом акселерографии. «Теория и практика физ. культуры» № 5, 1969,; 71—73.

IV—4. Бальсевич В. К. Исследование основных параметров движений в беге на скорость и некоторые пути совершенствования в технике бегунов на короткие дистанции. Канд. дисс. Л., 1963. (ЛНИИФК).

IV—5. Белоковский В. В. Исследование и совершенствование некоторых основных характеристик техники плавания кролем. Канд. дисс. М., 1969.

IV—6. Болобап В. И., Сильченко Б. Г., Бирюк Е. В., Щербинин А. И. Многоканальный стабилграф для исследования устойчивости. «Теория и практика физ. культуры», № 1, 1974, 70—71.

IV—7. Глухов В. И., Братковский В. К. Комплексная методика для изучения техники плавания. «Теория и практика физ. культ.», № 10, 1974, 63—68.

IV—8. Бухарцева И. Г. Силовые и скоростно-силовые характеристики мышц нижних конечностей квалифицированных фигуристов. «Теория и практика физ. культуры», № 12, 1974: 35—37.

IV—9. Гранин Д. Сад камней. М., «Современник», 1972.

IV—10. Гидиков А. А. Теоретические основы электромиографии: биофизика и физиология двигательных единиц. Л., «Наука», 1975.

IV—11. Головки Ю. П., Каминский В. В., Макашин Параметрические усилители биоэлектрических сигналов. М., «Энергия», 1971.

IV—12. Ермаков В. В., Докторович А. М., Мелехов П. В. Методика исследования техники движения конькобежца. «Теория и практи. физ. культ.» № 4, 1972, 66—69.

IV—13. Ермолаева-Томина Л. Б. Индивидуальные различия в кожно-гальванической реакции. В кн. «Типологические особенности высшей нервной деятельности человека», т. 4, М., 1965, 218—238.

IV—14. Жилина М. Я., Васюков Г. В. Срочная информация в деле совершенствования техники скоростной стрельбы. «Теория и практи. физ. культ.», № 2, 1975, 66—70.

IV—15. Зюзин В. Н., Королев В. П., Трахимович М. А. Двухкомпонентная тензомертрическая платформа ПТ-2. «Теория и практи. физ. культ.», № 6, 1975, 69—70.

IV—16. Нинолитов Ю. А. Определение моментов инерции тела спортсмена. «Проблемы биомеханики спорта», вып. 1, М., ВНИИФК, 1974, 84—97.

IV—17. Келлер В. С., Мозола Р. С. Кинематические и динамические характеристики техники штрафных бросков в баскетболе. «Теория и практика физ. культ.», № 7, 1974, 64—67.

- IV—18. Тезисы докладов научно-технической конференции по методам и приборам срочной информации в спорте. (Электроника и спорт IV) М., 1975.
- IV—19. Королев В. П., Трахимович М. Н. Метрологические характеристики динамографических платформ. Тезисы докладов научно-технической конференции по методам и приборам срочной информации в спорте. (Электроника и спорт IV) М., 1975. 40.
- IV—20. Лапук А. И., Левит А. И. Состояние и перспективы развития тензометрических измерений. Л., «Энергия», 1974.
- IV—21. Лапутин А. Н. Система для многоплоскостной пространственной динамики суставных движений при физических упражнениях. Материалы II Всесоюзной научной конференции по биомеханике спорта. Част. I. М., ГЦОЛИФК, 43—44.
- IV—22. Лапутин А. Н., Черный А. В. Методика пространственной акселерографии в биомеханике физических упражнений. «Теория и практи. физ. культ.», № 6, 1975, 66—68.
- IV—23. Ларин Ю. А. Тензометрия в парусном спорте для подбора рангоута. Теория и практи. физ. культ., № 6, 1975: 19—21.
- IV—24. Логинов В. Н. Электрические измерения механических величин. М., «Энергия», 1976.
- IV—25. Миненков Б. В. Техника и методика тензометрических исследований в биологии и медицине. М., «Медицина», 1976.
- IV—25. Миненков Б. В. Фотоплетизмография. М., Медицина, 1970.
- IV—27. Нехаевский В. Л., Нехаевский Ю. Л. Методика регистрации усилий в воднолыжном спорте. «Теория и практи. физ. культ.», № 9, 1972. 69—72.
- IV—28. Персон Р. С. Электромиография в исследованиях человека. М. «Наука», 1969.
- IV—29. Гурфинкель В. С., Коц Я. М., Шик М. Л. Регуляция позы человека. М., «Наука», 1965.
- IV—30. Раевский Н. П., Субботин М. И. Измерение линейных ускорений. М., изд. АН СССР, 1961.
- IV—31. Годик М. А. Исследование факторной структуры скоростных двигательных способностей человека. Дисс. канд., М., 1966, ГЦОЛИФК.
- IV—32. Ромишевский И. А. Исследование распределения усилий при выполнении технических приемов в хоккее. «Теория и практика физ. культ.» № 6, 1973, 62—64.
- IV—33. Зацюрский В. М., Сарсания С. К., Середя М. Г. «Способ измерения моментов инерции неоднородных несвободных тел». Авт. свидет-во № 427698.
- IV—34. Уткин В. Л., Петрусинский В. В. Автоматическая регистрация физической и тонической составляющей кожно-гальванической реакции человека. В кн. «Проблемы обнаружения слабых реакций нервной системы». М., 1968, 51—56.
- IV—35. Утямышев Р. И. Радиозлектронная аппаратура для исследования физиологических процессов. М., «Энергия», 1969.
- IV—36. Ченегин В. М. Методы исследования кожно-гальванических реакций у спортсменов. Теория и практика физ. культ. № 1, 1975: 69—71.
- IV—37. Челик В. Д., Ткачук А. П., Вентцель М. Д., Зюзин О. М. Автоматический количественный анализ динамических характеристик у гребцов. «Теория и практи. физ. культ.», № 8, 1973; 7—11.
- IV—38. Шушкевич В. А. Основы электротензометрии. Минск, «Высшая школа», 1975.
- IV—39. Электронная техника в спорте. Материалы научно-технической конференции, Киев. 1970.

IV—40. Электроника и спорт. Материалы научно-технической конференции. Л., 1968.

IV—41. Baron I. B., Moline I., Vrillac A. Statokinesmetric Recording of the Body Balance in Sport Medicine. Biomechanics I 1st Int Seminar Zurich 1967: 213—219 (Karger — Basel/New Jork, 1968).

IV—42. Blader F. B. The Analysis of Movement and Forces in the Sprint Start. Biomechanics I, 1st Int Seminar Zurich 1967: 278—271 (Karger — Basel/New Jork, 1968).

IV—43. Fukuoka T. Changes Knee Angle and in the Load of the Ski during Swing Motions in Alpine Skiing. Medicine and Sport, vol. 6: Biomechanics II: 246—248 (Karger — Basel, 1971).

IV—44. Hebbelinck M., Borms I. Cinematographic and Electromiographic Study of the Front Handspring. Biomechanics I, 1st Int Seminar Zurich 1967: 324—327 (Karger — Basel/New Jork, 1968).

IV—45. Ispiro T. Biomechanics of Rowing. Biomechanics II 249—252. (Karger — Basel, 1971).

IV—46. Jensen R. K., Bellow D. G. Impulse and work output curves for swimmers. Biomechanics IV Proc. of the 4-th Int. Sem. on Biomechanics. University Park Press, 1974 Baltimore, London, Tokyo: 197—202.

IV—47. Marhold C. Biomechanical anlysis of the she shotput. Biomechanics IV: 175—179

IV—48. Nicol K. Computerized method for determination of ice — skating velocity. Biomechanics IV: 250—257.

IV—49. Payne A. H. A force platform system for biomechanics research in sport. Biomechanics IV: 502—509.

IV—50. Ramey M. R. Use of Force Plates for Long — Jump Studies. Medicine and Sport, vol. 8: Biomechanics III: 370—380 (Karger — Basel, 1973).

IV—51. Родиченко В. С. Технический прогресс — союзник спорта. М., Физкультура и спорт, 1972.

к главе V «Телеметрия в спорте»

V—1. Антипов Б. И. Телеметрические исследования частоты сердцебиений при прыжках с шестом. «Теория и практика физической культуры», 1965, № 7, 38—39.

V—2. Белоковский В. В., Власов Б. С., Ларионов В. Д., Уклеин А. Я. Использование гидротелеметрии для измерения биомеханических и физиологических параметров пловцов. «Теория и практика физ. культуры», 1974, № 6, 71—73.

V—3. Вайс Т. Д., Максимов А. П., Червяков М. Е. Восьмиканальная биотелеметрическая система. «Проблемы радиотелеметрии и физиологии в медицине». Свердловск, 1968, 62—64.

V—4. Водолазский Л. А. Ультразвук в медицине. М. «Знание», 1966.

V—5. Камп Л. Подводная акустика. М., «Мир», 1972.

V—6. Келлер В. С., Синявский Т. И., Пеленский Л. Г., Заболотный С. И., Бубен Н. Ф., Явич А. А., Ирлин А. В., Абашкин Л. А. Радиотелеметрическая система для биодинамических исследований в спорте. «Теор. и практ. физ. культ.» № 3, 1969, 67—70.

V—7. Немировский М. С. Помехоустойчивость радиосвязи. «Энергия», 1966.

V—8. Романенко Е. В. Физические основы биоакустики М., «Наука», 1974.

V—9. Розенблат В. В. Радиотелеметрические исследования в спортивной медицине. М., «Медицина», 1967.

- V—10. Сарычев С. П. Радиотелеметрические исследования гребцов при переменных и постоянных темпах работы. «Проблемы физиологии спорта». М., «Физкультура и спорт», 1963, 190—204.
- V—11. Сергеев А. П. Радиоэлектроника под водой. Л., «Энергия», 1971.
- V—12. Столбун Б. М., Форштадт В. М. Регистрация по радио скорости распространения пульсовой волны у свободно передвигающегося человека. «Бюлл. экспер. биологии и медицины», 1964, 58, 10. 116—119.
- V—13. Тепляков И. М. Радиотелеметрия. М., «Сов. радио», 1966.
- V—14. Усманов З. Н., Добровольский Ю. В., Урецкий Я. С., Курмаев О. Д., Зайнутдинов Р. К. Измерение кровяного давления у конькобежцев радиотелеметрическим способом. «Теор. и практ. физ. культ.» № 1, 1971. 38—42.
- V—15. Уткин В. Л. Система для автоматического построения переходных процессов кардиодинамики. «Сердце и спорт». М., «Медицина», 1968, 358—367.
- V—16. Уткин В. Л. Некоторые современные проблемы регистрации кардиодинамики во время мышечной работы. «Спортивная медицина и лечебная физическая культура». М., ГЦОЛИФК, 1966, 103—108.
- V—17. Уткин В. Л. Методика поликардиографического исследования спортсмена в условиях тренировки. Материалы XVI Всесоюзной науч. конф. по спортивной медицине. М., 1969, 101—102.
- V—18. Харкевич А. А. Борьба с помехами. «Гос. изд-во физико-математической литературы», М., 1963.
- V—19. Цвєрава Д. М., Альтман Э. И., Косинская Н. Ф., Карпман В. Л., Уткин В. Л. Телеметрическое исследование сердечного ритма у всадника и у лошади в условиях спортивной тренировки. «Вопросы спортивной кардиологии». М., ГЦОЛИФК, 1972.
- V—20. Шастова Г. А. Кодирование и помехоустойчивость передачи телемеханической информации. М.-Л., «Энергия», 1966.
- V—21. Шуватов Л. П. Микроаппаратура для регистрации по радио некоторых физиологических функций. М., Медгиз, 1959.
- V—22. Bassan L. Radio-telemetrische Untersuchungen der Herzfrequenz beim Rudern unter Trainingsbelastungen. Theorie und Praxis der Körperkultur. 1967, 16, 4: 343—358.
- V—23. Elpel E. A., Foy W. H. A physiological data telemetry link. Mat. Telemetr. Conf. Proc., Los Angeles, Calif., New York, 1970; 85—90.
- V—24. Fischler H., Peled N., Verushalmi S. FM/FM multiplex radiotelemetry system for handling biological data. IEEE Trans. on BME. 1967, 14, 1: 30—39.
- V—25. Henßge C. Telemetrische Untersuchungsmethoden in der Sportmedizin. Medizin und Sport, 1969, 5: 129—160.
- V—26. Murray R. H., Marko A., Kissen A. T., McGuire D. W. A new, miniaturized, multichannel personal radiotelemetry system. J. Appl. Physiol. 1968, 24, 4: 588—592.
- V—27. Robrock R. B., Ko W. H. A six channel physiological telemetry system. IEEE Trans. on BME. 1967, 14, 1: 40—46.
- V—28. Skutt H. R., Fell R. B., Kertzen R. A multichannel telemetry system for use in exercise physiology. IEEE Trans. on BME, 1970, 17, 4: 339—348.
- V—29. Zweziheg J. R., Kado R. T., Hanley J., Adey W. R. The design and use of an FM/AM radiotelemetry system for multichannel recording of biological data. Trans. on BME. 1967, 14, 4: 230—238.
- V—30. Clarys J. P., Jiskoot J., Lewillie L. A Kinematographical, Electromyographical and Resistance Study of Water-Polo and Competition Front Crawl. Medicine and Sport, vol. 8; Biomechanics III, 446—452. (Karger—Basel, 1973).

V—31. Joseph J. Telemetric Electromyographic Studies of Gait In Man Medicine and Sport, vol. 6; Biomechanics II: 190—191, (Karqer — Basel).

V—32. Lewillie L. Telemetry of electromiographic and electrogoniometric signals in swimming. Biomechanics IV. 203—207.

V—33. Weaver C. S., Yarbrough J. M., Chadwick J. H., Brown F. A. A Wearable digital biological recorder. «Biotelemetry III» Acad. Press, N. Y. 1977.

к главе V «Регистрация результатов измерений»

VI—1. Тюпа В. В. Исследование внутрицикловых биомеханических характеристик спринтерского бега. Дисс. канд., М., 1978, ГЦОЛИФК.

VI—2. Бернштейн Н. А. Биомеханика для инструкторов. М., «Новая Москва», 1926.

VI—3. Бернштейн Н. А. Исследования по биодинамике локомоций. М.-Л., Изд-во ВИЭМ, 1935.

VI—4. Бернштейн Н. А. Очерки по физиологии движений и физиологии активности. М., «Медицина», 1966.

VI—5. Блохин П. А. Стереофотограмметрическая наземная съемка. Курс лекций. М.-Л., Глав. ред. геол. развед. и геодезич. лит., 1937.

VI—6. Бруфман С. С. Цифровые индикаторы. М.-Л., «Энергия», 1974.

VI—7. Василевский Ю. А. Видеомагнитофон. М., «Искусство», 1973.

VI—8. Герасимова О. И. Методы автоматической обработки данных геологии и геофизики. Новосибирск, 1971.

VI—9. Гурка М. Магнитофон. М., «Госэнергоиздат», 1960.

VI—10. Гончаров А. В. Техника магнитной видеозаписи. М., «Энергия», 1970.

VI—11. Каталог «Радиоизмерительные приборы — 1977», НИИТЭИ по радиоэлектронике, М., 1977.

VI—12. Дубовик А. С. Фотографическая регистрация быстротекущих процессов. М., «Наука», 1975.

VI—13. Индиченко И. Г. Стереофотограмметрические съемочные и обрабатывающие приборы. Дисс. канд., МИИГАиК, 1968.

VI—14. Каган Б. М., Каневский М. М. Цифровые вычислительные машины и системы. М., «Энергия», 1973.

VI—15. Лаврентьев В. И., Пелль В. Г. Скоростная киносъемка камерой СКС-1. М., «Искусство», 1963.

VI—16. Лобанов А. Н. Фототопография (наземная стереофотограмметрическая съемка). М., «Недра», 1968.

IV—17. Нефёдов В. И. Стереофотообоскопические методы исследования динамических процессов (четырёхмерная фотограмметрия) Дисс. канд. М., 1973.

VI—18. Пархоменко Ю. В. Видеозапись (магнитная). М., «Знание», 1975.

VI—19. Певзнер В. Л. Основы техники кинофотосъемки. Смоленск, Смоленский ГИФК, 1973.

VI—20. Русинов М. М. Инженерная фотограмметрия. М., «Недра», 1966.

VI—21. Скиридов А. С. Стереофотограмметрия. Москва, Изд-во геодез. и картограф. литературы, 1959.

VI—22. Темников Ф. Е. Автоматические регистрирующие приборы. М., «Машиностроение», 1968.

VI—23. Топышев О. П. Исследования соотношений стабильности и вариативности в структуре некоторых технических приемов волейбола. Дисс. канд. М., 1968.

VI—24. Groh H., Baumann W. Kinematische Bewegungsanalyse. Biomechanics, I. 1-st Int. Seminar on Biomechanics, Zurich 1967. Karger — Basel/New York, 1968, 23—32.

VI—25. Gombac R. Analysis of Movement by Film. Biomechanics I, 1st Int., Seminar, Zurich, 1967. Karger — Basel/New York, 1968, 37—41.

V—26. Gutewort W. Die digitale Erfassung kinematischer Parameter der menschlichen Bewegung. Biomechanics I, 1st. Int. Seminar Zurich. 1967; Karger — Basel/New York, 1968, 53—60.

VI—27. Hochmuth G. Kinematograficzne i dynamograficzne metody badan techniki sportwejo. Sympozium teorii techniki Sportwejo «Sport i turystyka» Warszawa, 1970.

VI—28. Winter D. A. Quanbury A. O. Reimer G. D. Analysis of instantaneous energy of normal gait. J. Biomechanics, 1976, vol. 9, 253—257.

VI—29. Hebbelinck M., Ross W. D. Kınantropometry and Biomechanics. Biomechanics IV. 537—552.

VI—30. Каталог «Радиоэлектронные медицинские аппараты и приборы». Мин. здравоохранения СССР. Всесоюзное объединение «Союзмедторгтехника», Москва, 1977.

VI—31. Каталог приборной продукции, поставляемой Союзглавприбором. Москва, Союзглавприбор, 1977.

к главе VII «Вычислительная техника в спорте»

VII—1. Амосов Н. М. Физическая активность и сердце. Киев, «Здоровье», 1975.

VII—2. Арутюнов М. Г., Маркович В. Д. Скоростной ввод-вывод информации. М., «Энергия», 1970.

VII—3. Гаврилов В. М., Седов А. В. Отраслевая служба информации в физической культуре и спорте. «Теор. и практ. физ. культ.», 1976, № 4, 72—75.

VII—4. Гаспаров М. Л. Современный русский стих. Метрика и ритмика. М., «Наука», 1974.

VII—5. Глушков В. М. Введение в АСУ. Киев, «Техника», 1974.

VII—6. Гутер Р. С., Янпольский А. Р. Дифференциальные уравнения. М., Физматгиз, 1962.

VII—7. Дорошенко Ж. Г., Дорошенко В. А., Смирнов В. А. Применение аналоговых вычислительных машин в медико-биологических исследованиях. Л., «Медицина», 1976.

VII—8. Иванов К. П., Клещев А. С. Биологический вычислительный центр. Л., «Наука», 1975.

VII—9. Клынин К. П., Леликов С. И. Прибор для регистрации динамики движения в тяжелой атлетике. «Теор. и практ. физ. культ.» 1975, № 7, 66—68.

VII—10. Коган Б. Я. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. М., изд. физ.-мат. лит., 1963.

VII—11. Королев Л. Н. Структуры ЭВМ и их математическое обеспечение. М., «Наука», 1974.

VII—12. Корн Г., Корн Т. Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины. М., «Мир», ч. I—1967, ч. II—1968.

- VII—13. Кулик Н. Г. Совершенствование путей повышения работоспособности борцов-самбистов. Дисс. канд., М., 1969.
- VII—14. Ладыженский М. М. Электронные аналоговые вычислительные машины. М., «Знание», 1973.
- VII—15. Ланге Ф. Корреляционная электроника. Судпромгиз, 1963.
- VII—16. Левин Л. Методы решения технических задач с использованием аналоговых вычислительных машин. М., «Мир», 1966.
- VII—17. Лезин Ю. С. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов. М., «Сов. радио», 1963.
- VII—18. Лищук В. А. Основные свойства саморегуляции насосной функции сердца. Труды семинара «Некоторые проблемы биокibernетики, применение электроники в биологии и медицине». Киев, 1969, 77—95.
- VII—19. Мартин Ф. Моделирование на вычислительных машинах. М., «Сов. радио», 1972.
- VII—20. Моисеев Н. Н. Математик задает вопросы. М., «Знание», 1974.
- VII—21. Патрунов Ф. Г. Электронные модели М., «Моск. рабочий», 1973.
- VII—22. Пинскер И. Ш., Цукерман Б. М., Малиновский Л. Г., Титомир Л. И., Шакин В. В. Проблема автоматизации анализа электрокардиограмм. Материалы II совещания по проблемам автоматического анализа биологических микроструктур и процессов. Пуццано, 1968, 54—57.
- VII—23. Преснухин Л. Н., Нестеров П. В. Цифровые вычислительные машины. М., «Высшая школа», 1974.
- VII—24. Пуайен Жак, Пуайен Жанна. Электронный язык М. Физматгиз, 1963.
- VII—25. Проблема общей и клинической физиологии сердечно-сосудистой системы. Киев, «Наукова думка», 1976.
- VII—26. Родионова Ю. М. Программирование. М., «Просвещение», 1976.
- VII—27. Слэйгл Дж. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973.
- VII—28. Соломатин Н. М., Беляев В. А. ЭВМ и поиск информации. М., «Машиностроение», 1977.
- VII—29. Соучек Б. Мини-ЭВМ в системах обработки информации. М., «Мир», 1976.
- VII—30. Уткин В. Л. Электронный дифференциатор для физиологических исследований. «Методы сбора и анализа физиологической информации». М., 1969, 266—272.
- VII—31. Уткин В. Л., Тюрина Э. В., Бабский Е. Б. Применение методики автоматического дифференцирования для исследования давления в желудочках сердца. «Бюллетень экспер. биологии и медицины», № 12, 1967, 98—100.
- VII—32. Фейгенберг И. М. Мозг, психика, здоровье. М., «Наука», 1972.
- VII—33. Хилтон А. М. Логика и цепи переключения. М.-Л., Госэнергоиздат., 1962.
- VII—34. Чесноков А. А. Решающие усилители. Л., «Энергия», 1969.
- VII—35. Beneken J. E. W., De Wit Physical bases of circulatory transport. Saunders comp. Philad. London, 1967.
- VII—36. Defares J. G., Hiroshi H., Hara H. H., Osborn J. J., McLeod J. Theoretical analyses and computer simulation of the circulation with special referense to the startling properties of the ventricles. Circulatory analog computers, 1963, 91—121.

VII—37. Garret G., Reed W. S., Widule C., Garret R. E. Human Motion: Simulation and Visualisation. Medicine and Sport, vol. 6, Biomechanics II, 299—303 (Karger—Basel, 1971).

VII—38. Milsum J. H., Kearney R. E., Kwee H. H. Interactive Use of Laboratory Computer for Biomechanical Studies. Medicine and Sport, vol. 8, Biomechanics III, 84—103. (Karger—Basel, 1973).

VII—39. Noordergraaf A. Development of an analog computer for the human systemic circulatory system. Circulatory analog computers. Amsterdam, 1963, 29—41.

VII—40. Susanka P. Computer techniques in the biomechanics of sport. Biomechanics IV, 531—534.

VII—41. Willimezik K. A Model for the Setting-up of Representative Motor Skills Explained by using the Results of Research on a Movement Analysis of High-Hurdling. Medicine and Sport, vol. 8, Biomechanics III, Karger—Basel 1973, 387—393.

VII—42. Winter D. A., Trenholm B. G. Reliable triggering for exercise electrocardiograms. IEEE Trans on BME. 1969, 16, 1, 75—79.

К главе VIII «Измерительная техника в обучении спортсменов»

VIII—1. Алиханов С. И. Тренажер для совершенствования нападающих ударов в волейболе. «Теор. и практ. физ. культ.», 1974, № 6: 73—74.

VIII—2. Амар Ж. Человеческая машина. Научные основы профессионального труда. М.-Л., Госиздат, 1926.

VIII—3. Агати В. Г., Кривоногов М. П. Тренажеры и специальные упражнения в легкой атлетике. М., «Физкультура и спорт», 1976.

VIII—4. Белиц-Гейман С. П. Теннис. Учебник для институтов физической культуры. М. «Физкультура и спорт», 1977.

VIII—5. Верхошанский Ю. В. Некоторые особенности рабочих движений человека. «Теор. и практ. физ. культ.», 1970, № 12: 8—12.

VIII—6. Воробьев А. Н. Тяжелая атлетика. Очерки по физиологии и спортивной тренировке. М., «Физкультура и спорт», 1977.

VIII—7. Всеволодов И. В. Теннисная автоматическая пушка. Журнал «Теннис», «Физкультура и спорт», 1969.

VIII—8. Герасименко В. Г. Механическое устройство для тренировки фехтовальщика. «Теор. и практ. физ. культ.», 1972, № 3: 74—76.

VIII—9. Заглада В. Е. Применение принципов программирования при освоении сложных гимнастических упражнений. Автореферат дисс. канд., М., 1976.

VIII—10. Заднорский В. М., Као Ван Тхы. Дискриминативные признаки эффективности спортивной техники. «Теор. и практ. физ. культ.», 197, № 9: 14—18.

VIII—11. Код Я. М. Тренировка мышечной силы методом электростимуляции. Сообщение I. Теоретические предпосылки. «Теор. и практ. физ. культ.», 1971, № 3: 64—67, № 4: 66—72.

VIII—12. Ковригин В. М. Тренировочный станок для специальной силовой подготовки пловца на суше. «Теория и практ. физ. культ.», 1970, № 5: 69—70.

VIII—13. Крылатых Ю. Г., Уткин В. Л., Чепик В. Д. Динамические характеристики тренировочных упражнений велосипедистов при работе с разной программной частотой сердечных сокращений. «Теория и практ. физ. культ.», 1970, № 3: 15—17.

VIII—14. Коренберг В. Б. Надежность исполнения в гимнастике. М., «Физкультура и спорт», 1970.

VIII—15. Леликов С. И. Экспериментальное определение прироста силы мышц в зависимости от темпа выполнения упражнений с отягощением. М., 1975. Дисс. канд.

VIII—16. Лозанов Г. К. Суггестология и суггестопедия. София, 1970. Автореферат дисс. докт.

VIII—17. Маслов Б. В., Польской Э. В. Новое в методике обучения кругам двумя ногами на коне. «Теория и практ. физ. культ.», 1970, № 5: 70—72.

VIII—18. Маликов Л. В., Овчарек А. М. Мюльберг И. Э. Устройство для метания мячей. «Теория и практ. физ. культ.», 1974, № 7: 75—76.

VIII—19. Михеев А. И., Язловецкий В. С. Вспомогательные средства в тренировке боксеров. «Теория и практ. физ. культ.», 1971, № 10: 72—73.

VIII—20. Морозовский В. Т. Многосвязные системы автоматического регулирования. М., «Энергия», 1970.

VIII—21. Неверкович С. Д., Чепик В. Д., Уткин В. Л. Анализ скорости бега конькобежцев в тренировке с автокардиолидером. «Теория и практика физ. культ.», 1970, № 12: 18—20.

VIII—22. Спиридонов В. П. Приспособление для обучения стойке на руках на брусьях и кольцах. «Теория и практ. физ. культ.», 1970, № 1: 59.

VIII—23. Талызина Н. Ф. Теоретические основы программированного обучения. М., Изд. МГУ, 1969.

VIII—24. Ратов И. П., Кузнецов В. В., Кравцов И. Н. Нетрадиционные педагогические подходы в процессе подготовки спортсменов. «Теория и практ. физ. культ.», 1974, № 8: 57—60.

VIII—25. Ратов И. П. Исследование спортивных движений и возможности управления изменениями их характеристик с использованием технических средств. Диссертация на соискание учен. степени доктора пед. наук ВНИИФК. М., 1971.

VIII—26. Ратов И. П. Полимофоническая установка. «Теория и практ. физ. культ.», 1972, № 1: 73—74.

VIII—27. Ратов И. П. Спортивные тренажеры. М., ВНИИФК, 1976.

VIII—28. Родиченко В. С. Научно-техническая революция и спортивная практика. Дисс. на соиск. учен. степени канд. пед. наук. М., 1969, ГЦОЛИФК.

VIII—29. Уткин В. Л., Чепик В. Д., Ткачук А. П., Моныхов В. В., Комаров В. Н. Измерение энергетических показателей эффективности спортивной техники (на примере академической гребли). Материалы 1-ой Всесоюзной конференции по биомеханике спорта. Часть I. Киев, 1974: 65—66.

VIII—30. Уткин В. Л. Автоматизированная система для отыскания индивидуально-оптимального варианта техники движений. «Методы и приборы срочной информации в спорте». (Электроника и спорт—IV) М., 1975.

VIII—31. Уткин В. Л. Роль теории управления в изучении движений спортсмена. Материалы 1-ой Всесоюзной конференции по биомеханике спорта. Часть I. Киев, 1974: 16—17.

VIII—32. Уткин В. Л., Бондин В. И., Комаров В. Н. Метод кардиолидирования в ациклических видах спорта. «Методы и приборы срочной информации в спорте» (Электроника и спорт—IV), М., 1975.

VIII—33. Фарфель В. С. Управление движениями в спорте. М., «Физкультура и спорт», 1975.

VIII—34. Чепик В. Д., Уткин В. Л. Многоконтурное автоматическое регулирование тренировочных нагрузок в спорте. «Теория и практ. физ. культ.», 1974, № 11: 61—67.

VIII—35. Челик В. Д., Уткин В. Л., Неверкович С. Д. Управление скоростью бега спортсмена при помощи программирования сердечного ритма. «Теория и практ. физ. культ.» 1969, № 11: 8—10.

VIII—36. Зациорский В. М., Челик В. Д., Уткин В. Л. Автономный автокардиолидер для программирования режима частоты сердечных сокращений спортсмена. Тезисы докладов конференции «Приборы и методы в спортивной тренировке и эксперименте», Л., 1969: 32—33.

VIII—37. Зинченко В. П., Вергилес Н. Ю. Формирование зрительного образа. М., МГУ, 1969.

VIII—38. Суханов Е. П. Прибор для определения координат ствола оружия. Тезисы конференции по биомеханике спорта М. ГЦОЛИФК 1976.

VIII—39. Иванецкий М. Ф. Анатомия человека т. 1—2. М., «Физкультура и спорт», 1965—66.

VIII—40. Барчаи Е. Анатомия для художников. Будапешт, 1975.

VIII—41. Холщеваникова Т. В. Количественная оценка качества работы лектора. «Теор. и практ. физ. культ.», № 7, 1977: 52—54.

VIII—42. Baron K., Krüger A. Der Trainomat wichtiges Hilfsmittel in der Klinik und der Trainingspraxis. Leistungssport, 1972, № 1: 32—36.

VIII—43. Dal Monte A., Fussi S., Mononi A. The treadmill as training and simulator instrument in middle — and long — distance running. Sport Medicine and Physical Fitness, 1974, 14, 2, 67—72.

VIII—44. Holmgren A., Mattson K. F. A new ergometer with constant work load at varying pedalling rate. Scand. J. Clin and Lab Invest 1954, 6, 2, 137—140.

VIII—45. Karpman V. L., Sinyakow A. F., Lyubina B. G., Gudkow I. A. Der Blutkreislauf bei gesteuerter Tachikardie bei Sportlern. Med. und Sport 1972, № 12: 374—379.

VIII—46. Zarruhg M. I., Todd F. N., Raiston H. I. Optimization of Energy Expenditure during level Walking. Europ J appl Physiol 33, 1974, 293—306.

Граничные значения t-критерия Стьюдента в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы (n')

n	Уровень значимости (p)					n'	Уровень значимости (p)				
	0,2	0,1	0,05	0,01	0,001		0,2	0,1	0,05	0,01	0,001
1	3,08	6,31	12,71	63,60		16	1,34	1,75	2,12	2,92	4,02
2	1,89	2,92	4,30	9,93	31,60	17	1,33	1,74	2,11	2,90	3,97
3	1,64	2,35	3,18	5,84	12,94	18	1,33	1,73	2,10	2,88	3,92
4	1,53	2,13	2,78	4,60	8,61	19	1,33	1,73	2,09	2,86	3,88
5	1,46	2,01	2,57	4,03	6,86	20	1,32	1,72	2,09	2,85	3,85
6	1,44	1,94	2,45	3,71	5,96	21	1,32	1,72	2,08	2,83	3,82
7	1,41	1,89	2,37	3,50	5,41	22	1,32	1,72	2,07	2,82	3,97
8	1,39	1,86	2,31	3,56	5,04	23	1,32	1,71	2,07	2,81	3,77
9	1,38	1,83	2,26	3,25	4,78	24	1,32	1,71	2,06	2,80	3,75
10	1,37	1,81	2,23	3,17	4,59	25	1,32	1,71	2,06	2,79	3,73
11	1,36	1,80	2,20	3,11	4,44	26	1,31	1,71	2,06	2,78	3,71
12	1,36	1,78	2,18	3,06	4,32	27	1,31	1,70	2,06	2,77	3,69
13	1,35	1,77	2,16	3,01	4,22	28	1,31	1,70	2,05	2,76	3,67
14	1,35	1,76	2,15	2,98	4,14	29	1,31	1,70	2,04	2,76	3,66
15	1,34	1,75	2,13	2,95	4,07	30	1,31	1,70	2,04	2,75	3,65
						20	1,29	1,66	1,98	2,62	3,37

Граничные значения коэффициента корреляции в зависимости от уровня значимости и числа пар измерений (n)

n	Уровень значимости (p)			n	Уровень значимости (p)		
	0,1	0,05	0,01		0,1	0,05	0,01
4	0,900	0,950	0,990	18	0,400	0,468	0,590
5	0,805	0,878	0,959	19	0,389	0,456	0,575
6	0,729	0,811	0,917	20	0,378	0,444	0,561
7	0,669	0,754	0,874	21	0,369	0,433	0,549
8	0,622	0,707	0,834	22	0,359	0,423	0,537
9	0,582	0,666	0,798	23	—	0,413	0,526
10	0,549	0,632	0,765	24	—	0,404	0,515
11	0,521	0,602	0,735	25	—	0,396	0,505
12	0,497	0,576	0,708	26	—	0,388	0,496
13	0,476	0,553	0,684	27	0,323	0,381	0,487
14	0,458	0,532	0,661	28	—	0,374	0,478
15	0,441	0,514	0,641	29	—	0,367	0,470
16	0,426	0,497	0,623	30	—	0,361	0,463
17	0,412	0,482	0,606	100	0,164	0,196	0,258

* Таблицы составлены по книгам: Fisher R., Yates F. «Statistical tables for biological, agricultural and medical research». London, 1957; Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск. Высшая школа, 1967.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	6
Глава I. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ	8
I. Шкалы измерений	8
Шкала наименьших значений	9
Шкала порядка	10
Шкала интервалов	11
Шкала отношений	12
II. Единицы измерений	14
1. Основные, производные и внесистемные единицы измерения	15
2. Некоторые важные единицы измерения	16
Единицы измерения кинематических характеристик движения	16
Единицы измерения динамических характеристик движения	18
Единицы измерения работы, мощности и теплоты	19
Единицы измерения давления	20
Единицы измерения электрического потенциала	21
III. Точность измерений	22
Основная погрешность	22
Дополнительная погрешность	22
Абсолютная погрешность	23
Относительная погрешность	23
Систематическая погрешность	24
Случайная погрешность	26
Глава II. ПРИНЦИПЫ СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	29
I. Спортсмен как объект измерения	29
Изменяемость	30
Адаптивность	30
Многомерность	31
Неполная наблюдаемость	31
Подвижность спортсмена	32
II. Спортивные измерения и моделирование	33
Виды моделей	33
Процедура создания модели	35
Математический аппарат моделирования	37
III. Спортивные измерения и теория систем	40
1. Элементы понятийного аппарата теории систем	42
2. Основы функционального анализа систем	48
А. Статические характеристики систем	49
Б. Динамические характеристики систем (показатели быстродействия)	56
В. Особенности функционального анализа многомерных систем	65
3. Основы системно-структурного подхода к анализу систем	66
А. Методы изучения состава систем	66
Б. Методы изучения структуры систем	67
Глава III. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ	75
I. Качество тестов	75
Информативность теста	76

Надежность теста (корреляционные методы)	81
Объективность теста	84
Надежность теста (дисперсионные методы)	84
II. Точность измерительной аппаратуры	92
Биомеханически-неадекватные способы дозирования нагрузки	93
Биомеханически-адекватные способы дозирования нагрузки	93
Точность измерений и условия проведения исследования	94
ЧАСТЬ II. ТЕХНИКА СПОРТИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	95
Глава IV. ДАТЧИКИ ИНФОРМАЦИИ О СПОРТСМЕНЕ	96
I. Датчики биоэлектрических процессов	96
Межэлектродное сопротивление	97
Датчики электрокардиограммы	98
Датчики электромиограммы	100
Датчики кожно-гальванических потенциалов	102
Усилители биопотенциалов	103
II. Датчики биомеханических величин	103
Физические явления, лежащие в основе методов измерения	106
Закон Ома	106
Тензоэффект	106
Пьезоэлектрический эффект	107
Электромагнитная индукция	107
Фотоэлектрический эффект	108
Эффект Допплера	108
2. Методы измерения	108
Измерение силы	108
Измерение ускорения	112
Измерение скорости	114
Измерение угловых перемещений	115
Измерение колебаний центра масс спортсмена	117
Измерение линейных перемещений	118
Измерение инерционных характеристик тела спортсмена	119
Глава V. ТЕЛЕМЕТРИЯ В СПОРТЕ	120
I. Проводная телеметрия	121
II. Радиотелеметрия	122
Возможности радиотелеметрии	122
Основные характеристики радиотелеметрических систем	123
Состав и принцип действия радиотелеметрических систем	125
Организация радиотелеметрического исследования	126
III. Перспективы развития спортивной телеметрии	127
Глава VI. РЕГИСТРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	128
I. Регистрация электрических сигналов	131
Перьевая запись	131
Струйная запись	132
Фотозапись	132
Запись ультрафиолетовыми лучами	133
Магнитная запись	134
Запись в цифровой форме	134
Современные комплексы регистрирующей аппаратуры	135
II. Индикация электрических сигналов	136
Стрелочные индикаторы	136
Цифровые индикаторы	136

III. Регистрация изображения	139
Из истории оптических измерений	139
Разновидности оптических измерений	141
Методы обработки фотоснимков и кинограмм	144
Глава VII. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В СПОРТЕ	147
I. Разновидности вычислительных устройств	149
II. Состав и структура вычислительных машин	150
Цифровая вычислительная машина	150
Аналоговая вычислительная машина	152
III. «Профессии» вычислительных машин в спорте	154
Контроль состояния спортсмена	154
Регулирование тренировочных нагрузок	156
Диагностика и прогнозирование	158
Моделирование	160
Оптимизация	160
Информационный поиск	162
Глава VIII. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ОБУЧЕНИИ СПОРТ СМЕНОВ	164
Разновидности тренажеров	165
I. Тренажеры без обратной связи	166
II. Тренажеры с обратной связью	168
Принцип обратной связи	168
Тренажеры с обратной связью без срочной информации о ре- зультате действия	168
Тренажеры с обратной связью и срочной информацией для фи- зической подготовки спортсменов	171
Тренажеры с обратной связью и срочной информацией для тех- нической подготовки спортсменов	174
Заключение	178
ЛИТЕРАТУРА	181
Приложение	195
Содержание	197

Измерения в спорте
(введение в спортивную метрологию)

Издание методического кабинета ГЦОЛИФКа

Редакторы И. Дубнова, В. Зайцева

Корректор Н. Лаптева

Л-123983 от 27.11.78 г. Заказ 252 Объем 12 п. л. Тираж 10

Типография ЦС «Динамо»