

516.8
130

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

МАРЧЕНКО Юрий Петрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИКИ
ГИМНАСТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ
МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО
АНАЛИЗА**

(13.00.04 — теория и методика физического воспитания
и спортивной тренировки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата педагогических наук

К И Е В 1977

Работа выполнена на кафедре гимнастики / заведующий - кандидат педагогических наук, доцент А.В.Волков / Киевского государственного института физической культуры / ректор - доктор педагогических наук, профессор В.А.Парфенов / отдела теории вероятностей и математической статистики - /зав.отделом - член-корреспондент АН УССР В.С.Королюк / Института математики АН УССР / директор - академик АН УССР Ю.А.Митропольский / и лаборатории спортивной метрологии Всесоюзного научно-исследовательского института физической культуры /зав.лабораторией - доцент Ю.И.Смирнов/.

Научные руководители:

Кандидат педагогических наук, доцент

Ю.И.Смирнов

Кандидат физико-математических наук, доцент

А.Н.Литвинов

Научный консультант

Заслуженный мастер спорта СССР,

Заслуженный тренер СССР, доцент

М.Д.Дмитриев

Официальные оппоненты:

Доктор педагогических наук, профессор

И.П.Ратов

Кандидат биологических наук, доцент

А.Н.Лапутин

Ведущее учреждение - Львовский государственный институт физической культуры.

Защита состоится " 25 " сентября 1977 г. на заседании Специализированного совета К0460201 по присуждению ученой степени кандидата педагогических наук Киевского государственного института физической культуры, г.Киев, ул.Факультета, 1. К 30

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КИФК.

Автореферат разослан " 25 " сентября 1977 г.

Ученый секретарь специализированного совета кандидат педагогических наук, доцент А.В.Волков.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Современное развитие спорта все острее ставит вопрос о надежности выступлений спортсменов в ответственных международных соревнованиях. Одним из ведущих факторов, обеспечивающих надежность выступления спортсменов, является техническое мастерство, которое в своей основе опирается на рациональную структуру движений, эффективные структурно-фазовые механизмы управления, рациональные и устойчивые центральные механизмы автоматизированного и сознательного управления двигательными действиями / В.М. Дьячков, 1974 /. Совершенствование технического мастерства спортсменов и спортивной техники, рационализация процесса обучения, поиск резервов исполнительной техники, обусловили применение в спортивной педагогике средств и методов физики, математики, кибернетики и других наук. Биомеханические исследования в области спорта и анализ двигательной структуры спортивных упражнений с применением корректных методов математического анализа позволяют выявить наиболее оптимальные варианты спортивной техники с учетом индивидуальных особенностей исполнителя, определить как общие, так и частные закономерности построения гимнастической техники.

Применяемые до сих пор методы были основаны, преимущественно на теоретико-механическом анализе двигательных действий спортсменов. При этом для упрощения рассуждений допускалась некоторая идеализация движений. Более детальное исследование этих движений ограничивается все возрастающей сложностью математического аппарата. Поэтому представляется интересным использование в подобных случаях таких математических методов, которые обладали бы в некотором смысле компромиссными качествами. А именно, давали бы достаточно ощутимый практический результат без существенного усложнения математических выкладок.

Настоящая работа и посвящена теоретическому обоснованию и разработке практических путей использования метода спектрального анализа для решения ряда задач теории и практики спортивной тренировки.

Научная новизна заключается в исследовании широкого круга вопросов биомеханики гимнастической техники методом спектрального анализа. В настоящей работе впервые для изучения биомеханических закономерностей двигательной деятельности спортсменов исполь-

зуются методы, основанные на анализе Фурье /спектральном анализе/ соответствующих траекторных компонентов движений. Получены экспериментальные данные, которые свидетельствуют о том, что использование метода спектрального анализа, применительно к потребностям спортивной гимнастики, позволяют объективно оценивать техническое мастерство спортсменов, получать объективные пространственно-временные характеристики реальных двигательных действий гимнастов, четко дифференцировать общие закономерности биомеханической структуры сложнокоординированных гимнастических упражнений и на их фоне выявить особенности, присущие конкретному спортсмену. Полученные результаты существенно дополняют представления развиваемые наукой о построении движений.

Они могут служить основой для разработки теоретических положений в спортивной педагогике. Наличие спектральных моделей техники спортивных движений создает определенную основу для выдвижения гипотез о механизме изучаемых явлений. Работа выполнена на стыке наук педагогика и биомеханика – физики и математики, что позволило на современном уровне, комплексно решить ряд важных задач теории и практики спортивной тренировки.

Практическая значимость определяется возможностью использования предложенного подхода и разработанных алгоритмов для исследования не только структуры построения гимнастической техники, но и решения широкого круга типовых задач объектов биомеханики методом спектрального анализа. Их эффективность показана в ряде практических исследований, проведенных в настоящей работе.

Разработаны конкретные пути реализации использования метода спектрального анализа. Составлена программа алгоритма счета данного метода, позволяющая практически использовать рекомендуемый метод. Рекомендации, разработанные на основе метода спектрального анализа, были использованы в процессе тренировочных занятий сборных команд КГФК, УССР и дали положительный эффект.

Цель работы.

Экспериментальное изучение возможностей метода спектрального анализа для исследования техники гимнастических упражнений и разработка конкретных путей его практического использования в теории и практике подготовки гимнастов.

Реализация практических результатов работы. Разработанный подход спектрального анализа техники гимнастических упражнений

с соответствующим математическим обеспечением для ЭВМ "Мир-2" применяется в научно-исследовательской работе комплексной научной группы /КНГ/ сборной команды УССР по спортивной гимнастике /Акт о внедрении от Ю.Ш.76/, Федерации акробатики УССР /Акт о внедрении от 2.У.76/. Комплекс программ по спектральному анализу техники легкоатлетических упражнений используется в научно-исследовательской работе кафедры физического воспитания Черниговского Государственного педагогического института /Акт о внедрении от II.XII.75/.

Апробация работы. Диссертационная работа и отдельные ее разделы представлены и докладывались на Научно-методических конференциях Киевского Государственного института физической культуры /Киев, 1969-1975 гг./, Республиканской методической конференции по проблемам подготовки сборных команд Украинской ССР к У Спартакиаде народов СССР /Львов, 1970/, Республиканских методических конференциях тренеров по спортивной гимнастике /Киев, 1970-77 гг./, Республиканских методических семинарах тренеров по спортивной гимнастике /Киев, 1970-77 гг./, Всесоюзной научно-методической конференции по проблеме "Техническое мастерство квалифицированных спортсменов" /Омск, 1973 г./, Всесоюзных научных конференциях по биомеханике спорта /Киев, 1974 и 1976 гг./, на научном семинаре лаборатории спортивной метрологии Всесоюзного научно-исследовательского института физической культуры /Москва, 1976 г./.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 2 статьи и 6 тезисов в материалах Республиканских и Всесоюзных научных конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложений. В диссертации содержится 169 страниц, 28 рисунков, актов и отзывов на внедрения.

Глава I. Теоретические предпосылки и проблема исследования /обзор литературы/.

В обзоре приводятся литературные данные, посвященный рассматриваемой проблеме по следующим направлениям:

1. Эволюция исследований техники гимнастических упражнений.

2. Применение современных технических средств и методов сбора и обработки данных в спортивно-педагогических исследованиях.

Делается заключение о том, что мало исследованы вопросы об'ективной оценки качества исполнения гимнастических упражнений. Остается неисследованным вопрос о биомеханической целесообразности построения гимнастической техники с учетом индивидуальных особенностей отдельных спортсменов. Недостаточно также изучен вопрос о научно-обоснованной компоновке соединения элементов в биомеханически рациональные связки и комбинации.

Решение этих вопросов возможно лишь на основе точных и об'ективных данных биомеханического анализа техники гимнастических упражнений, основанных на применении новых, более совершенных средств и методов сбора и обработки данных.

Глава II. ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы решались следующие задачи:

1. Исследование и обоснование возможности применения метода спектрального анализа для изучения техники гимнастических упражнений.

2. Разработка:

- а/ методики сбора исходных данных и способов описания гимнастической техники в терминах спектрального анализа;
- б/ программы расчета на ЭВМ "Мир-2" и методики расшифровки данных исследуемых процессов, полученных с применением спектрального анализа.

На основании предложенной методики решить задачи по:

1. Определению причин и характера недостатков в технике исполнения гимнастических упражнений как явных - внешне-проявленных, так и скрытых, которые трудно определить визуально;

2. Разработке количественных критериев оценки качества исполнения гимнастических упражнений методами математического анализа;

3. Определению наиболее биомеханически рациональной формы гимнастических упражнений;

4. Выявлению особенностей индивидуальной техники исполнения упражнений;

5. Исследованию особенностей компоновки элементов различных структурных групп для соединения их в наиболее биомеханически рациональные связки и комбинации;

6. Разработке оптимальных требований и методических приемов совершенствования спортивной техники на основании сравнительного анализа двигательных действий реальных спортсменов и выявленных "эталонных" образцов.

Для решения поставленных задач были использованы следующие методические приемы исследований:

1. Анализ отечественной и зарубежной научно-методической литературы.

2. Анализ фото- кинограмм, кинокольцовок и видеомagneфонных записей.

3. Изучение и обобщение опыта практической работы путем:

а/ устного опроса;

б/ педагогических наблюдений.

4. Педагогический эксперимент с использованием методов:

а/ киносъемки и киноциклограммометрии;

б/ гармонического анализа;

в/ спектрального анализа;

г/ фазового анализа /годографа/.

5. Методы математической статистики.

Определение качественной стороны техники исполнения

упражнений осуществлялось с помощью педагогических наблюдений на соревнованиях республиканского и всесоюзного масштабов, а также в процессе тренировочных занятий.

Экспериментальным путем были определены оптимальные технические условия регистрации движений точек проекций осей суставов отдельных звеньев тела гимнастов /условно названных плечо, таз, колено, носки -ПТКН/. Съемка производилась кинокамерами с шириной пленки 35 мм /КС50-Б, "Родина", "Конвас"/, скорость съемки 32, 48 кадров в секунду, фокусное расстояние 75 см, угол обзора 0-160°, расстояние до объекта съемки 10-20 метров, со стабилизированной протяжкой пленки.

Расшифровка материалов съемки проводилась на специальном расшифровочном столе и аппарате "Микрофот" тип 5 ПО-1. Экспериментальным материалом для исследований служили циклограммы гимнастических элементов, связок, соединений и комбинаций, выполненных членами сборных команд СССР, УССР и студентов КТИФК.

Всего в ходе исследований было выполнено свыше 200 кинорегистраций различных гимнастических элементов /большой оборот назад, элемент - подъем переворотом с перемахом ноги врозь вне и оборот назад с перемахом назад в стойку на руках, выполненные из различных исходных положений и в различных сочетаниях/, выполненных 150 спортсменами-гимнастами высокой квалификации /М.С.М.К. - К.М.С./.

Обоснование применимости и теоретические основы метода спектрального анализа заключаются в том, чтобы по определенным характеристикам двигательных действий спортсменов получать в достаточной степени объективные количественные оценки. В связи с этим возникает вопрос о необходимости в каждом упражнении среди всевозможных траекторий выделить одну, которая в наших рассуждениях будет играть роль "единичной" или "эталонной". При этом реальные траектории будут отличаться друг от друга по степени отклонения, в определенном смысле, от выбранной "единичной" траектории. Наиболее подходящим ма-

тематическим аппаратом для решения поставленных задач может служить аппарат гильбертовых пространств, что соответствует в нашем случае функциям интегрируемым с квадратом.

Поскольку среднеквадратические характеристики траекторий движения тела гимнаста могут быть связаны со спектральными, то на основе спектрального анализа траекторий движения могут быть построены определенные численные характеристики. При соответствующей статистической обработке и путем сопоставления их с оценками судей они могут служить объективными характеристиками движения.

Адекватность и удобство использования метода спектрального анализа объясняется тем фактом, что двигательные действия спортсменов отличаются требуемой в таких случаях "гладкостью" и конечной пространственной временной протяженностью. Итак, обозначим через $L^2[a, b]$ пространство функций

$$f(x) \text{ , для которых справедливо условие}$$

$$\int_a^b f^2(x) dx < \infty$$

При этом любые две функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$, для которых $\int_a^b [f_1(x) - f_2(x)]^2 dx = 0$ будет рассматриваться как один элемент пространства $L^2[a, b]$. Факт принадлежности функции /траектории/ $f(x)$ пространству $L^2[a, b]$ будет записываться как $f(x) \in L^2[a, b]$.

Пусть $f_0(x)$ - "единичный" элемент пространства $L^2[a, b]$, тогда нормой /длиной/ элемента/ $f(x)$ будет

$$\|f(x)\| = \sqrt{\int_a^b [f(x) - f_0(x)]^2 dx} \quad /1/$$

Скалярное произведение двух элементов $f_1(x)$ и $f_2(x)$ определена как

$$(f_1(x), f_2(x)) = \int_a^b [f_1(x) - f_0(x)][f_2(x) - f_0(x)] dx \quad /2/$$

Как известно /см., например, К.Морен "Методы гильбертовых пространств", 1968/, для определенного таким образом пространства $L^2[a, b]$ выполняются все аксиомы гильбертова пространства. Пространство $L^2[a, b]$ линейно, полно в метрике /расстоянии/ между элементами, скалярное произведение коммутативно и линейно по умножению на число. Кроме того, пространство $L^2[a, b]$ обладает счетным базисом, т.е. существует такой счетный набор элементов, что любая функция $f_1(x) - f_0(x)$ и $f_2(x) - f_0(x)$ может быть сколь угодно точно приближена к метрике пространства $L^2[a, b]$ линейной комбинацией $\mathcal{Y}_k(x)$.

В поставленной нами задаче при определенном выборе "опорной" траектории $f_0(x)$ и определенном выборе базиса $\mathcal{Y}_k(x)$, коэффициенты a_k могут служить основой для построения объективных оценочных характеристик выполняемых упражнений. Имеет место следующее равенство /тождество Парсеваля/:

$$\int_a^b [f(x) - f_0(x)]^2 dx = \sum_{k=0}^{\infty} a_k^2 \quad /3/$$

при этом a_k определяется как скалярное произведение

$$a_k = (f(x) - f_0(x), \mathcal{Y}_k(x)) = \int_a^b (f(x) - f_0(x)) \mathcal{Y}_k(x) dx \quad /4/$$

Коэффициенты a_k и b_k / $k = 2, 3, \dots$ /, а также функции от них могут быть взяты в качестве объективных характеристик техники исполнения гимнастических элементов. Такой характеристикой, например, может служить сумма $\sum_{k=2}^{\infty} (a_k^2 + b_k^2)$, если путем набора статистических данных на гимнастах будет

выявлена закономерность между оценками судей и величиной этой характеристики. Эта характеристика - расстояние в пространстве реальных траекторий /траектории $q(d) / d$ - угол поворота от "опорной" круговой, в смысле метрики пространства функций, интегрируемых с квадратом.

В работах Н.А.Берштейна /1966/ локомоторные акты интерпретируются в виде сумм трех или четырех гармонических колебаний, называемыми тригонометрическими суммами Фурье. Однако следует заметить, что такой подход возможен, если исследуемый двигательный акт является периодической функцией, как, например, ходьба, бег и т.д. В случае непериодической функции, какими являются двигательные действия ациклических видов спорта /в том числе и спортивная гимнастика/ адекватным будет переход к интегральному преобразованию Фурье, т.е. к спектральному анализу. При исследовании двигательных актов гимнастов лишь в случае достаточной идеализации оборотовых движений при вращении в неизменной позе мы имеем дело с периодической функцией. Все остальные движения гимнастов представляют собой непериодические функции. Практическое использование спектральных представлений сводится к осуществлению разложения в ряд Фурье, к гармоническому анализу и раскрытию спектральной структуры реальных биомеханических процессов. С целью практического применения метода спектрального анализа и получения информации исследуемых действий спортсменов была разработана и составлена программа алгоритма счета на языке ЭВМ "Мир-2".

Глава III - Экспериментальное исследование применимости метода спектрального анализа /предварительное исследование/.

В главе показаны способы описания двигательных действий спортсменов в терминах метода спектрального анализа и показан перевод исследуемых процессов на алгоритм счета ЭВМ "Мир-2" на примере анализа техники исполнения наиболее часто

встречающегося элемента на перекладине - большого оборота назад, исполненного гимнастами различной технической подготовленности. Результаты обработки данных сведены в таблицы и по ним построены частотные /спектральные/ характеристики - модули спектров и фазовые характеристики для всех исследуемых массивов траекторий движения точек проекций осей составов звеньев тела гимнастов (см. рис.1., рис.2.).

Экспериментальными исследованиями было установлено, что основная гармоника - спектр ω_1 , соответствует чисто круговой компоненте вращения тела гимнаста, а гармоники высших порядков - спектр ω_3 , характеризуют отклонение этого движения от чисто кругового. Таким образом, в идеальном случае исполнения оборотов в виде точного круга соответствует случай, когда имеется только первая гармоника, в данном случае спектр $\omega_1 = 0,011$, а гармоники высших порядков отсутствуют. Таким образом, идеально исполненному большому обороту назад будут соответствовать траектории с наименьшими отклонениями от чисто кругового движения и наименьшие значения амплитуд - max_2 , при спектре ω_3 для всех звеньев тела.

На полученных спектрах видно наличие третьей гармоники - спектр ω_3 , величины которых у исследуемых гимнастов различны /см. табл. I/. Следовательно, гармоники высших порядков - спектр ω_3 , характеризуют общую накопленную ошибку исполнения большого оборота назад по величине амплитуды спектра - max_2 .

Таблица I.

Величины амплитуд высших гармоник
(по max_2 спектра ω_3)

| Исполнители | Звенья тела | | |
|-------------|-------------|-----|-----|
| | II | T | K |
| А-В. | 174 | 364 | 419 |
| С-В. | 206 | 294 | 391 |
| Д-ий. | 175 | 329 | 476 |

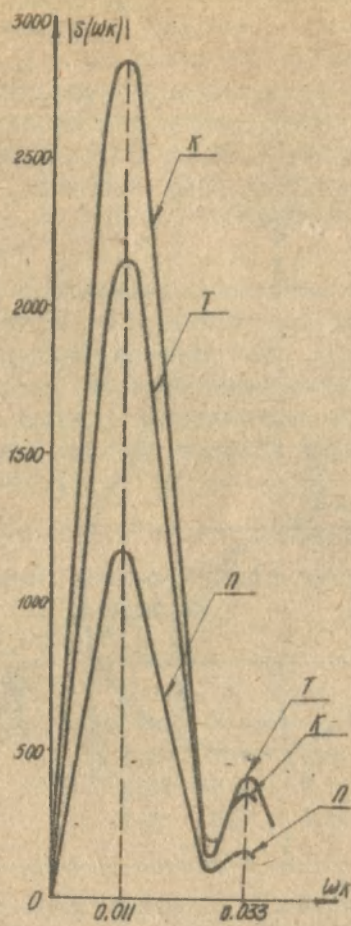


Рис. I. Спектральная характеристика большого оборота назад.
Исполнитель А-В.

Где: $|S(\omega_{\kappa})|$ - модуль спектральной функции (амплитуда),
 ω_{κ} - круговая частота (период/сек.).

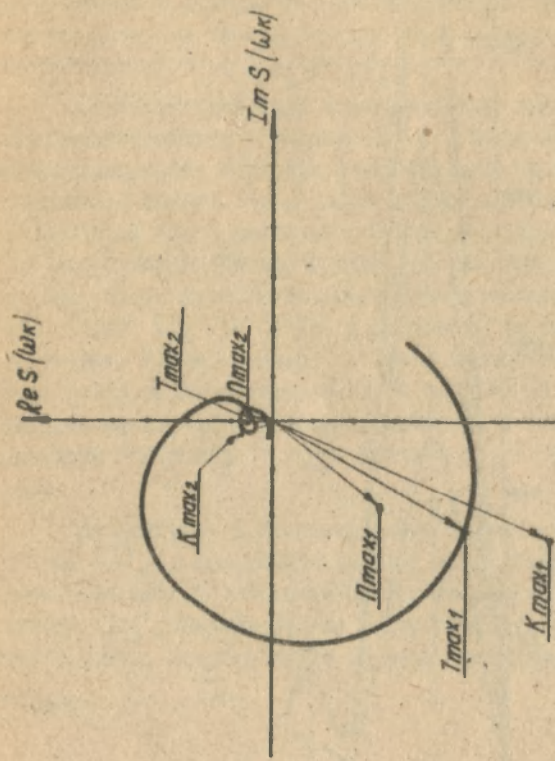


Рис.2. Голограф - фазовая характеристика большого оборота назад.
Исполнитель А-В.

Где: $\text{Re } S(\omega\kappa)$ - действительная часть спектральной функции.

$\text{Im } S(\omega\kappa)$ - мнимая часть спектральной функции.

Это положение согласуется с исследованиями В.Т.Назарова, 1965-1973, в которых показано, что идеально исполненный большой оборот назад характеризуется максимальной площадью, описанной вектор-радиусом общего центра тела спортсмена. Качество исполнения данного элемента удобно характеризовать показателями коэффициентов отношения амплитуд основной гармоники - первой к гармоникам высших разрядов, т.е. отношением величин max_1 и max_2 спектров ω_1 и ω_3 для всех звеньев тела.

Статистическое исследование соответствия оценок /судейских/ качества исполнения гимнастических упражнений и коэффициентов отношения первой гармоники ω_1 к гармоникам высших порядков показало, что полученными коэффициентами мы вправе оперировать и судить о количественной мере качества исполнения двигательных действий гимнастов с достаточной достоверностью /см. табл.2/.

Таблица 2

Коэффициенты отношения первой и третьей гармоник

| Исполнители | Звезда тела | П | Т | К | Судейская оценка |
|-------------|-------------|------|-----|-------|------------------|
| А - В | | 6,78 | 5,9 | 6,624 | 8,9 |
| С - В | | 6,12 | 7,9 | 7,63 | 9,8 |
| Д - ИИ | | 6,62 | 6,2 | 6,12 | 9,2 |

В главе представлены годографы, по которым можно отметить дополнительные - фазовые различия в технике исполнения большого оборота назад этих исследуемых же гимнастов. Практически построение фазовых характеристик - годографа, производится в декартовой системе координат, где по оси ординат откладываются значения действительной части спектра $Re S(\omega_k)$, по оси абсцисс значения мнимой части спектральной функции

$\text{Im } S(\omega_k)$, для каждого исследуемых процессов. Положение точек max_1 и max_2 на годографах, соответствуют эти же максимумы на спектрах ω_1 и ω_2 . Знак действительной части спектральной функции характеризует приложение гимнастом дополнительных мышечных усилий: ускоряющих - совпадающих с положительным значением действительной части спектра, и тормозящих - совпадающих с отрицательным значением действительной части спектра. По аналогии это можно сравнить с параллелограммом сил. Мнимая часть спектральной функции показывает текущую фазу движения.

Анализ взаимодействия звеньев тела гимнаста при выполнении большого оборота назад показывает, что данное движение представляет собой цепь последовательных элементарных действий в основных суставных сочленениях. Активной первоосновой для этих элементарных сгибательно-разгибательных действий являются мышечные усилия, прилагаемые гимнастами к основным звеньям тела.

Динамика и синхронность взаимодействия звеньев тела являются определяющими факторами техники выполнения движений. Нарушение связи между отдельными звеньями тела неизбежно приводит к появлению ошибок в исполнении упражнения. Гимнасты А-В и Д-ий выполняют большой оборот назад с меньшей скоростью чем С-В и соответственно имеют больший рабочий участок, причем усилия ими приложены синфазно, т.е. для успешного выполнения данного упражнения они должны прилагать дополнительные мышечные усилия, совпадающие по направлению с основным движением: точки max_2 (характеризующие приложение дополнительных усилий) расположены в соседних квадрантах с точками max_1 (характеризующими основное движение) - соответственно во II и III квадрантах.

Это приводит к нарушению ритма взаимодействия между отдельными звеньями, к разбалансу всей системы звеньев тела, к нарушению целостной картины всего двигательного акта. В наглядном виде это проявляется в визуально определяемой ошибке техники исполнения упражнения.

У гимнаста С-ва рабочий участок короче и усилия приложенные им, противофазны основному движению - гимнаст лишь управляет основным движением, слегка сдерживая его. Точки приложения дополнительных усилий, max_2 лежат в противоположных квадратах по отношению расположения точек max_1 основного движения /I и III квадранты/, что свидетельствует о более рациональной форме техники исполнения большого оборота назад.

Амплитудно-фазовые соотношения могут оказаться различными для отдельных звеньев тела одного и того же спортсмена, что можно наблюдать на приведенных спектрах и годографах. Даже у лучшего исполнителя данного элемента, гимнаста С-ва, ошибка в работе и постановке плечевого пояса проявляется как на спектральной, так и фазовой характеристиках.

Глава IV - Исследование техники исполнения некоторых сложнокоординированных гимнастических элементов и соединений.

Для изучения особенностей техники исполнения сложных гимнастических элементов и соединений был исследован элемент высшей группы трудности /группы "С"/ - подъем переворотом с перемахом ноги врозь вне и оборот назад с перемахом назад в стойку на руках, выполненного гимнастами в различных сочетаниях и из различных исходных положений: м.с.и.к. 0-ом после поворота кругом плечом вперед и м.с. Б-м - после большого оборота назад.

Спектральная характеристика данного элемента, выполненного Б-м, имеет пять гармонических составляющих. Первая и третья / ω_1 и ω_3 / гармоники характеризуют большой оборот назад, гармоники высших порядков /спектры ω_2 , ω_4 и ω_5 / - исследуемый элемент. Характерной особенностью данного спектра является строгая периодичность и высокая синхронность исполнения упражнения всеми звеньями тела с периодом $T = 0,033$. Высшие гармоники спектры $\omega_{2,3,4,5}$ точно кратны первой гармонике - спектр ω_1 .

Соединение, выполненное 0-ном, характеризуется наличием двух основных гармоник /спектры ω_2 и ω_4 / с разными

частотами, характеризующими работу отдельных звеньев тела. Они не кратны, не периодичны и сдвинуты относительно первой гармоники /спектр ω_2 / в сторону замедления движения. То же относится и к шестой гармонике /спектр ω_6 / - третьей по отношению к ω_2 и колебания отдельных звеньев тела носят квазипериодический характер ввиду нарушения ритма связи между ними.

Данные, приведенные в таблице 3 свидетельствуют об этом

Таблица 3
Спектральная характеристика исследуемого элемента

| Исполн. | Звенья тела | Гармоники | | | | | |
|---------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | ω_1 | ω_2 | ω_3 | ω_4 | ω_5 | ω_6 |
| Б-в | П | 0,033 | 0,066 | 0,099 | 0,132 | 0,165 | - |
| | Т | 0,033 | 0,066 | 0,099 | 0,132 | 0,165 | - |
| | Н | 0,033 | 0,066 | 0,099 | 0,132 | 0,165 | - |
| О-н | П | - | 0,075 | - | - | - | 0,207 |
| | Т | - | 0,069 | - | 0,144 | - | 0,201 |
| | Н | - | 0,065 | - | 0,137 | - | 0,200 |

У О-на вторая гармоника плечевого пояса - спектр П ω_4 , вообще отсутствует. Это объясняется тем, что плечевой пояс почти не участвует в выполнении движения, а спектры дистальных звеньев тела Т ω_4 , Н ω_4 имеют удлиненный рабочий участок в начальной стадии выполнения упражнения. Это объясняется тем, что О-н недостаток скорости вынужден компенсировать форсированным движением ног, т.е. прилагать значительные дополнительные усилия для успешного выполнения элемента, на что и указывает фазовая характеристика - годограф

/точки $\max_{4,6}$ спектра находятся во II квадранте/. Гимнаст Б-в рационально использует запас начальной скорости, умело координирует основные действия и прилагает дополнительные усилия корректирующего характера.

Появление шестой гармонической составляющей спектра у 0-на характеризуется общей накопленной ошибкой при исполнении данного элемента. В наглядном виде это проявилось в амплитудных характеристиках спектров ω_6 по \max_6 для всех звеньев тела.

У Б-ва общая накопленная ошибка совпадает с погрешностями счета и не проявилась в спектре - спектр ω_6 отсутствует, следовательно, элемент практически выполнен без ошибок. Как было показано ранее /гл. III/, качественная сторона выполнения данного элемента характеризуется коэффициентами отношения частотных характеристик основной гармонике к гармоникам высших порядков /см. табл. 4/.

Таблица 4.

Коэффициенты отношений частотных характеристик спектров

| Исполн. | Звенья тела | Гармоники | | | Исполн. | Звенья тела | Гармоники | | |
|---------|-------------|-----------|------|---|---------|-------------|-----------|------|------|
| | | 2 | 4 | 6 | | | 2 | 4 | 6 |
| Б-в | П | I | 0,57 | - | 0-н | П | I | - | 0,27 |
| | Т | I | 0,59 | - | | Т | I | 0,17 | 0,16 |
| | Н | I | 0,31 | - | | Н | I | 0,15 | 0,14 |

Из приведенных данных следует, что элемент, выполненный Б-м, имеет незначительные погрешности /не отмеченные судьями/ в технике движения дистальных звеньев тела, где коэффициент при Н $\omega_4 = 0,3$.

У 0-на коэффициенты при Т $\omega_4 = 0,17$ и Н $\omega_4 = 0,15$ находятся вне границ рационального исполнения, что и привело к появлению шестых гармоник и их определяющих характеристик коэффициентов ПТН при спектре ω_6 .

Проведенный анализ подтверждается и оценками, полученными спортсменами за выполнение всей комбинации - у Б-ва - 9,4; у О-на - 8,25. Сбавки за выполнение данного элемента соответственно ноль и 0,6 балла.

Глава У - Методическая разработка практического использования метода спектрального анализа для исследования техники гимнастических упражнений.

Результаты проведенных исследований и их обобщение позволяют утверждать, что для получения комплексного педагогического и биомеханического анализа техники исполнения гимнастических упражнений рекомендуется получение объективной количественной и качественной оценки пространственно-временных характеристик двигательных действий гимнастов методом спектрального анализа, который позволяет описывать получаемую информацию в виде спектральных и фазовых функций.

На основании экспериментальных данных исследования применимости метода спектрального анализа показано, что наиболее чувствительными к особенностям как общих биомеханических закономерностей построения гимнастической техники, так и к индивидуальным проявлениям исполнительского мастерства гимнастов являются спектральные и фазовые характеристики данного метода.

При анализе координационной структуры двигательных действий гимнастов рекомендовано использование характеристик спектрального состава исследуемых процессов с его определенными характеристиками амплитудно-частотных соотношений по модулю спектральной функции $|S(\omega_k)|$ и круговой частоте ω_k .

Фазовая характеристика данного метода позволяет в наглядном виде определить величину, направление и характер прилагаемых спортсменом усилий: основных, соответствующих основному способу исполнения упражнения и дополнительных, характеризующих ошибки в технике исполнения.

Определяющими характеристиками фазовых отношений - годографа, являются характеристики по действительной $Re S(\omega_k)$ и мнимой части $Im S(\omega_k)$ спектральной функции исследуемого процесса.

Данные характеристики строго дифференцированы по доле участия как каждого отдельно взятого звена тела спортсмена, так и всей системы звеньев в общем ансамбле всего исследуемого двигательного действия гимнаста.

При построении спектральных и фазовых характеристик необходимо строгое соблюдение условий и правил построения модулей спектров и годографов, а также условий сбора и обработки первичной /исходной/ информации /гл.П,Ш/.

Регистрацию исследуемых двигательных действий гимнастов рекомендуется производить кинокамерой с шириной пленки 35 мм с соблюдением условий выше описанной с"емки /гл.П/.

При составлении киноциклограмм и построении графиков функции траекторий движения тела спортсмена целесообразно использовать траектории движения точек проекции осей суставов плечевого, тазобедренного и голеностопного. При этом за тело отсчета принято считать гриф перекладины.

Фиксацию положения точек проекций осей суставов тела гимнаста принято производить через каждые пять угловых градусов.

Составление и расшифровку киноциклограмм производить на специальном расшифровочном столе или применяя аппарат "Микрофот" типа 5ПО-1 /гл.П/.

Для получения об"ективных количественных характеристик качества исполнения гимнастических упражнений следует использовать следующие методические приемы оценки исполнительской техники:

- а/ по величине показателей амплитуд высших гармоник спектров $\omega_{2,3...n}$;

- б/ определяя коэффициенты отношений амплитуды первой гармоники к гармоникам высших порядков по \max_1 спектра ω_1 к $\max_{2,3,\dots,n}$ спектров $\omega_{2,3,\dots,n}$;
- в/ используя эти коэффициенты в сочетании со сбором статистического материала оценочной стоимости элементов, связок и комбинаций /судейских оценок/, применяя методы математической статистики и анализа /гл. III. IV/.

Результаты исследований показывают, что каждый отдельно взятый элемент, соединение или комбинация в целом имеют свою и только одному ему присущую спектральную и фазовую характеристику. Однако при этом следует учитывать, что спектральная характеристика одних и тех же элементов, соединений или комбинаций, исполненных различными гимнастами, может иметь различия по круговой частоте ω_k спектральной функции исследуемых процессов.

Как показывают данные проведенных исследований, различия в частотных характеристиках являются проявлением индивидуальных особенностей исполнителей, а несовпадение частот основной гармоники и гармоник высших порядков указывают на наличие ошибок в технике исполнения исследуемого действия спортсмена.

С целью исключения постоянной компоненты на вид спектральной функции первичный цифровой массив необходимо центрировать.

Дальнейшая обработка полученных данных осуществляется на ЭВМ по специально разработанной программе.

При этом следует заметить, что первичная обработка исходных центрированных данных проводится по полной программе счета, а для всех последующих массивов одного и того же последующего элемента, соединения или комбинации рекомендуется применение пофрагментной программы счета с целью экономии машинного времени и получения срочной информации.

Как показали результаты настоящих исследований, полу-

чаемая методом спектрального анализа информация о технике исполнения гимнастических упражнений реальными гимнастами может служить основой для применения разработанных методов и средств спортивной педагогики, а также разработки практических рекомендаций с целью рационализации процесса обучения, совершенствования спортивной техники и повышения спортивного мастерства гимнастов.

ВЫВОДЫ

Комплексное исследование техники гимнастических упражнений, проведенное в настоящей работе с применением педагогического, биомеханического и математического анализов, дает основание для утверждения о том, что метод спектрального анализа может быть эффективно использован для исследования двигательных действий спортсменов.

1. Предлагаемый метод анализа техники гимнастических упражнений позволяет описывать исследуемые процессы в виде спектральных и фазовых функций, на основании которых могут быть построены спектральные и фазовые характеристики реальных двигательных действий спортсменов.

2. В результате экспериментальных исследований установлено, что спектральные и фазовые характеристики гимнастических упражнений позволяют получать большой объем объективной количественной информации о качестве двигательных действий спортсменов и о характере допускаемых ошибок, как внешне проявляемых, так и скрытых, которые трудно определить визуально.

3. Метод спектрального анализа с достаточной достоверностью может быть использован для оценки техники исполнения гимнастических упражнений.

Исследованиями установлено, что ошибки в кинематике и

динамике исследуемых двигательных актов спортсменов взаимно-обусловлены. Эта взаимозависимость кинематических и динамических характеристик определяет возможность количественного и качественного анализа упражнений по спектральным и фазовым характеристикам данного метода. С учетом статистических оценок получены количественные критерии качества исполнения гимнастических элементов, связок, соединений.

4. Спектральные и фазовые характеристики гимнастических упражнений имеют свои отличительные особенности, которые сохраняются независимо от качества исполнения и принадлежности упражнения к той или иной структурной группе. Полученные экспериментальные данные показывают, что каждый отдельно взятый элемент /ряд элементов/ имеет свою и только одному ему присущую спектральную характеристику. Эта особенность метода спектрального анализа дает возможность создания научно-обоснованной классификации различных по структуре гимнастических упражнений и создает предпосылки прогнозирования гимнастической техники.

5. Установлена высокая чувствительность его характеристик к индивидуальным особенностям исполнения не только отдельных гимнастических упражнений, но и связок, соединений и комбинаций. Использование этой методики показано на примерах практического исследования техники исполнения исследуемых элементов и соединений.

6. Показана применимость использования метода спектрального анализа к выбору целесообразной последовательности соединения гимнастических элементов различных структурных групп в биомеханически рациональные связки и комбинации.

7. На основании полученных спектральных и фазовых характеристик упражнений, выполненных высококвалифицированными спортсменами, могут быть определены эталонные модели исполнительской техники, которые приобретают качество выражения рациональной техники и оптимального варианта исполнения гимнастических упражнений и как следствие наглядного элемента

обратной связи в процессе обучения.

8. Исследуя изменение различных общих и частных выходов /функций/ во времени при различных режимах внешних входов /исходных данных/ при различных исходных состояниях, метод спектрального анализа дает возможность моделирования двигательных действий реальных спортсменов и создание "эталонных" моделей гимнастических упражнений.

9. Предлагаемый метод спектрального анализа может быть основополагающим при разработке оптимальных требований и методических приемов совершенствования технической подготовки гимнастов и рационализации управления процесса обучения.

10. В результате проведенных исследований гимнастической техники выявлена и систематизирована оптимальная методика практического использования метода спектрального анализа, не требующая от тренеров и специалистов гимнастики специальных математических знаний.

11. С целью практического применения метода спектрального анализа техники гимнастических упражнений и получения объективной информации исследуемых двигательных действий спортсменов, разработан алгоритм и составлена программа счета исходных данных на алгоритме счета ЭВМ "Мир-2".

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Упражнения на брусьях параллельных. Методические разработки, КТИФЖ, К., 1969.
2. Применение рядов Фурье при анализе гимнастических упражнений. Методические разработки по проблемам подготовки сборных команд Украинской ССР к У Спартакиаде народов СССР 1971 года. К., 1970.
3. О спектральных характеристиках движений гимнастов. Методические разработки по биомеханике. К., 1972.
4. Анализ техники гимнастических упражнений методом спектрального анализа с применением рядов Фурье. Материалы Всесоюзной научно-методической конференции по проблеме "Техническое мастерство квалифицированных спортсменов", М., 1973.
5. Критерий оценки некоторых сложнокоординированных гимнастических упражнений. Материалы научно-методической конференции по проблеме "Техническое мастерство квалифицированных спортсменов", М., 1973.
6. Спектральный анализ движений гимнастов. Ж., Теория и практика физической культуры, № 8, 1974.
7. Исследование структуры взаимосвязи между элементами движений методом спектрального анализа. Материалы I Всесоюзной научной конференции по биомеханике спорта, ч. I. М., 1974.
8. Исследование влияния различных режимов чередования упражнений и отдыха на кинематическую структуру прыжка в высоту методом спектрального анализа. Материалы II Всесоюзной конференции "Проблемы биомеханики спорта", Киев, 1976.