

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ
ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПОРТЕ
И ПРИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ ЗАНЯТИЯХ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

Методические разработки для студентов,
слушателей Высшей школы тренеров
и факультета усовершенствования ГЦОЛИФКа

Москва - 1986

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Утверждены
Советом ГЦОЛИФКа

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПОРТЕ И ПРИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ
ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

Методические разработки для студентов,
слушателей Высшей школы тренеров и факультета
усовершенствования ГЦОЛИФКа

Москва - 1986

Методические разработки составлены В.Л.Уткиным, М.А.Андрю-
ниным, В.А.Заикиным, Г.Ф.Угольковой, М.И.Шкуновым, под общей
редакцией канд.биол.наук, доцента В.Л.Уткина.

І. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПТИМИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

Оптимизацией называется поиск наилучшего варианта из числа возможных. В практике физического воспитания и спорта оптимизация состоит в выявлении такого двигательного режима, при котором достигает максимума избранный критерий оптимальности. Критерием оптимальности может быть: экономичность, механическая производительность, быстрота, точность, эстетичность, комфортабельность; безопасность и их сочетания. Выбор того или иного критерия оптимальности определяется специфическими особенностями вида спорта или теми задачами, которые ставит перед собой человек, занимающийся физическими упражнениями в оздоровительных целях.

Важнейшими критериями оптимальности являются те, что непосредственно связаны с энергетическими возможностями человеческого организма. Речь идет об экономичности и механической производительности.

Экономичность важна во всех без исключения видах двигательной деятельности. Этот критерий количественно характеризует соотношение результата деятельности и энергетических затрат на его достижение. Но если для ходока и бегуна-марафонца экономичность имеет первостепенное значение, то спринтеру важнее продемонстрировать высокую механическую производительность, а гимнасту — эстетичность движений. Однако и в этих случаях следует избегать ненужных энергетических затрат; это позволит достичь более высокого результата.

Особенно важна экономичность движений для людей среднего и пожилого возраста. Каждому полезно иметь представление о свойственных ему наиболее экономичных величинах скорости передвижения, длины и частоты шагов. Это позволит не только меньше устать,

но и сделать более эффективными занятия оздоровительной физкультурой.

Критерий механической производительности, напротив, относится преимущественно к спорту. Согласно этому критерию, лучшим будет тот, кто сумеет выполнить наибольший объем работы за ограниченное время или быстрее всех выполнить заданный объем работы. Например, преодолеть соревновательную дистанцию за минимальное время. В этом примере, взятом из практики циклических видов спорта, максимизация, механическая производительность принимает форму повышения среднедистанционной скорости.

По существу, в данном случае речь идет о том, чтобы спортсмен в полной мере продемонстрировал свою физическую работоспособность, т.е. способность выполнить возможно больший объем механической работы.

Физическая работоспособность определяется тремя основными факторами: энергетическим потенциалом человека, экономичностью движений и степенью истощения энергетических ресурсов.

Непосредственным источником энергии мышечного сокращения служит аденозинтрифосфат (АТФ). Его запаса в мышцах хватает всего на полсекунды. Поэтому одновременно с расходом энергии и восстановлением АТФ за счет энергии, высвобождаемой в результате биохимических превращений трех типов. Отсюда представление о трех энергетических системах — окислительной, фосфагенной и лактацидной. Они и определяют энергетический потенциал человека. Причем нужно заметить, что в современном спорте возможности дальнейшего увеличения емкости и мощности основных энергетических систем у атлетов высокого класса практически исчерпаны.

Другой резерв повышения физической работоспособности состоит в экономизации движений. Установлено, что ранг спортсменов, входящих в элиту стайерских видов спорта, мало зависит от максимального потребления кислорода (МПК), но тесно связана с экономичностью. Коэффициент корреляции между среднедистанционной скоростью и энергетической (и пульсовой) стоимостью метра пути достигает 0,9.

Важным эргогенным (повышающим физическую работоспособность) фактором является тактика распределения сил по дистанции. Оптимизация тактики по критерию механической производительности обеспечивает более полное истощение энергетических ресурсов. Для успе-

ха здесь важно преодолеть одно широко распространенное заблуждение.

Бытует мнение, что из двух тактических вариантов более высокую среднестатистическую скорость обеспечивает тот, при котором энергозатраты меньше. Это верно для мышечной работы умеренной относительной мощности, которая может непрерывно выполняться более 30-40 мин. Для более интенсивных упражнений ситуация иная. При работе большой и особенно субмаксимальной и максимальной относительной мощности спортсмен не всегда успевает "выложиться", т.е. полностью использовать весь свой энергетический потенциал. И в этих случаях следует принимать все меры к тому, чтобы успеть затратить как можно больше энергии и, следовательно (по закону сохранения энергии), выполнить возможно больший объем механической работы. Разумеется, энергозатраты должны осуществляться в экономичных формах. Но это касается второстепенных моментов, например, выбора способа передвижения или длины и частоты шагов. Основное — это выбор интенсивности движений в каждый момент времени должен осуществляться так, чтобы обеспечить наибольшую механическую производительность и тем самым наилучший соревновательный результат.

В силу сказанного естественно, что тактика предельной (выполняемой "до отказа") мышечной работы при стремлении к наивысшей производительности может отличаться от тактики равномерной мощности (или равномерной скорости), которая, как известно, наиболее экономична. Это отличие касается первых одной-двух минут выполнения работы, когда энергетические затраты обеспечиваются как окислительной системой, так и "анаэробными" энергетическими системами — фосфагенной и лактацидной. В отличие от равномерной тактики при стремлении к механической производительности спортсмен должен с первых же секунд упражнения стремиться развить предельно возможную мощность. При этом наиболее полно используются его энергетические ресурсы. Это происходит по двум причинам. Во-первых, потребление кислорода быстрее нарастает от уровня покоя до своего максимального значения. Во-вторых, до предела сокращается временной интервал от начала работы до момента активизации лактацидной энергетической системы.

Таким образом, оптимальная по механической мощности динамика мощности (скорости передвижения) при предельной мышечной ра-

боте, длящейся менее 15 мин, отличается от равномерного варианта, который оптимален по экономичности. Это отличие состоит в том, что на старте механическая мощность (скорость) существенно превышает среднестанционный уровень, а затем постепенно снижается по мере того, как уменьшается энергетический запас фосфагенной и лактацидной энергетических систем. Указанное отличие тем значительнее, чем интенсивнее выполняемая работа и меньше время ее выполнения, иными словами — чем короче соревновательная дистанция.

Конкретные данные, количественно характеризующие обсуждаемые закономерности, представлены в следующих разделах.

2. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Установлено, что в целом ряде случаев человек способен самостоятельно найти оптимальный режим двигательной деятельности. Так, в процессе естественного отбора сформировалась та закономерность двигательного поведения, которую называют принципом минимума энергозатрат. Принцип минимума гласит: "нормальный человек в нормальных условиях выбирает тот режим деятельности, при котором затраты энергии минимальны". В соответствии с принципом минимума энергозатрат организуют свою двигательную деятельность практически здоровые взрослые люди. Маленькие дети обычно выбирают более интенсивные и энергоемкие режимы движений, что необходимо для их нормального роста и физического развития.

В самое последнее время В.Д.Уткин с сотрудниками обнаружили еще одну важную закономерность, которую назвали принципом максимума производительности. Согласно принципу максимума производительности, практически здоровый человек в нормальных условиях произвольно выбирает наиболее производительный двигательный режим, если критерием оптимальности двигательной деятельности служит механическая производительность.

Однако способность человека самостоятельно оптимизировать свои движения реализуется далеко не всегда. В усложненных условиях это не удастся, если не сформирован специальный навык. И, кроме того, нередко играют роль традиции, не отвечающие современным научным представлениям об оптимальных режимах движений. На-

пример, бытующая у нас традиция замедленной ходьбы или традиции равномерного (с одинаковой скоростью) прохождения соревновательной дистанции независимо от ее длины.

Учитывая сказанное, следует сделать вывод, что необходимо владеть методами точного выявления оптимальных режимов двигательной деятельности. При стремлении к экономичности самое важное - уметь найти оптимальную (наиболее экономичную) скорость передвижения и оптимальное сочетание длины и частоты шагов, а также "пороговую скорость", соответствующую анаэробному порогу. Если критерием оптимальности служит механическая производительность, то необходимо выявить наилучшую динамику мощности или скорости передвижения, иначе говоря - оптимальную "раскладку".

Оптимальную скорость определяют следующим образом. Измеряют энергетические затраты при разных скоростях. При этом от начала работы до начала измерения должно пройти 3-4 мин, чтобы закончился период встраивания и энергетические системы перешли в устойчивое состояние. Вычисляют энергетическую стоимость метра пути, равную частному от деления скорости энергозатрат на скорость передвижения. Оптимальной (наиболее экономичной) считается та скорость передвижения, при которой энергетическая стоимость метра пути минимальна.

Если измерение энергетических затрат трудно осуществить, можно ограничиться регистрацией частоты сердечных сокращений. Установлено, что для определения оптимальной скорости передвижения нужно искать минимум "чистой" пульсовой стоимости метра пути, вычисляемой по формуле: $\frac{ЧСС - ЧСС_0}{V}$, где $ЧСС_0$ - частота пульса

в покое. Заметим, что при повышенной внешней температуре пульсовая стоимость метра пути информативнее энергетической стоимости.

Точность определения оптимальной скорости повышается, если скорость передвижения программировать по уровню тахикардии с помощью кардиолидера.

Оптимальное (наиболее экономичное) сочетание длины и частоты шагов выявляют методом двухконтурного регулирования двигательной деятельности, который является развитием метода кардиолидирования. При использовании метода двухконтурного регулирования одновременно программируются два показателя, например, частота пульса и темп движений или длина и частота шагов. В этом случае

при поиске оптимального сочетания длины и частоты шагов целесообразно применять методы оптимального планирования эксперимента. Для того, чтобы уяснить только что сказанное, представьте себе, что в темноте необходимо быстро спуститься на дно оврага. Приходится двигаться ощупью, шаг за шагом. Разумная тактика спуска будет состоять в том, чтобы, стоя на месте, сделать пробные шаги вперед, назад, влево и вправо и затем переместиться на один шаг в сторону наиболее крутого склона оврага. Затем вся процедура повторяется. И так до тех пор, пока не будет достигнута самая низко расположенная точка. Такое рассуждение лежит в основе широко распространенных методов оптимизации эксперимента, известных под названием методов спуска. Самый совершенный из них (с точки зрения специфических задач оптимизации движений) получил название метода нацеленного спуска.

Метод нацеленного спуска отличается тем, что исходная точка поиска выбирается в соответствии с принципом минимума энергосодержания. То есть вначале человеку дает возможность двигаться произвольно и регистрируют характеристики выбранного им двигательного режима. А затем программируют его движения и находят оптимальный двигательный режим. В нашем случае — оптимальное сочетание длины и частоты шагов.

Анаэробным порогом называется уровень физической нагрузки (например, величина скорости бега), при превышении которого в крови накапливается лактат (т.е. молочная кислота и ее соли). Определение анаэробного порога целесообразно объединить с определением оптимальной скорости. При этом на каждой ступени нагрузки нужно взять пробу капиллярной крови и измерить в ней концентрацию лактата. Кровь берут чаще всего на 3-5-й минуте восстановления. Результаты измерений представляют в виде графика с координатами: концентрация лактата — скорость. После чего графически находят величину скорости, при которой концентрация лактата начинает резко увеличиваться. Эту скорость принято считать "пороговой", т.е. соответствующей анаэробному порогу.

Наконец, рассмотрим методы выявления оптимальной динамики механической мощности и скорости передвижения. Сразу заметим, что традиционные экспериментальные методы здесь непригодны ввиду их трудоемкости и практической неосуществимости многократного (по несколько десятков раз) исследования человека в услови-

пределной, выполняемой до изнеможения, мышечной работы. Поэтому экспериментальные исследования людей были заменены имитационными экспериментами с математической моделью энергетического обеспечения движений и преобразования механической мощности в скорость передвижения.

Процедура имитационного моделирования складывается из трех этапов. Вначале составляется словесная (содержательная, логиче-ская) модель изучаемого явления. Затем словесная модель переводится на язык математики, и полученная математическая модель транслируется на алгоритмические языки, на которых "объясняют-ся" современные электронно-вычислительные машины с диалоговым ("разговорным") режимом работы. И, наконец, переходят к имитационным экспериментам. Изучаемое явление многократно воспроиз-водят на ЭВМ, при этом периодически сравнивают результаты моде-лирования с результатами экспериментального исследования. Напри-мер, моделировали процессы энергетического обеспечения предель-ной мышечной работы продолжительностью 5 мин у людей разного возраста. Одновременно проводили выборочные экспериментальные исследования, чтобы убедиться в том, что результаты моделирова-ния точно отображают физиологические процессы, протекающие в ор-ганизме человека.

Применение имитационного моделирования значительно экономит затраты времени и труда при научных исследованиях, а также при решении разнообразных практических задач. Это и понятно: ни в одном серьезном деле не обходится без проб и ошибок. Но экспери-менты, проводимые за пультом вычислительной машины, гораздо де-шевле и безопаснее экспериментов с реальным объектом, особенно с человеком. Не случайно имитационное моделирование находит все более широкое применение в промышленности, экономике, биологии и других отраслях знания. По свидетельству Р. Шеннона, в США ими-тационное моделирование по частоте использования даже 6 лет назад занимало среди методов научного исследования третье место после математической статистики и экономического анализа.

Более подробно сведения о технологии имитационного моделиро-вания можно найти в литературе, список которой завершают методи-ческие разработки.

Время непрерывной работы на верхней границе зоны экономичных режимов (т.е. на уровне анаэробного порога) у физически тренированных юношей и взрослых достигает двух, а в отдельных случаях даже двух с половиной часов (табл. I). Момент отказа от продолжения работы совпадает с исчерпанием запаса гликогена в мышцах. Доля участия анаэробного гликолиза в энергообеспечении мышечной работы несколько выше, чем при оптимальной мощности, но основным источником энергии служит окисление углеводов и жиров.

Таблица I

Предельная продолжительность равномерной мышечной работы с интенсивностью, соответствующей анаэробному порогу

Характеристика испытуемых (мужчины)		Время непрерывной работы (мин)	
возраст (лет)	спортивная квалификация	среднее арифметическое (час, мин)	лимиты (час, мин)
20-24	МС, КМС	2.15	1.45-2.27
15-16	I разряд	2.00	1.40-2.10
11-12	-	1.03	0.50-1.15

В табл.2 собраны средние арифметические значения потребления кислорода, легочной вентиляции и лактата капиллярной крови, характерные для двух степеней физической нагрузки, соответствующих нижней и верхней границам зоны экономичных режимов.

3.2. Наиболее экономичные режимы циклических движений в нормальных условиях

Рассмотрим конкретные цифры, характеризующие зону экономичных режимов при наиболее распространенных видах циклических движений.

А. Наиболее экономичные режимы ходьбы изучались с целью выявления оптимальной скорости, поскольку достижение уровня анаэробного порога при ходьбе связано со значительными трудностями, особенно у высокоотренированных людей. Испытуемыми были мальчики в возрасте 6 и 10-12 лет, подростки и юноши 15-18 лет, мужчины в возрасте 20-22 лет, тренированные женщины 20-22 лет, практи-

Таблица 2

Величины физиологических показателей, характерные для нижней (1) и верхней (2) границы зоны экономичных режимов циклических движений у практически здоровых людей разного возраста и уровня тренированности (усредненные экспериментальные данные авторов)

Наименование показателя	Единица измерения	Дети, 5-7 лет		Нетренированные дети, 10-12 лет		Тренированные юноши, 15-17 лет		Тренированные девушки, 15-17 лет		Тренированные мужчины, 20-24 лет		Нетренированные женщины, 20-24 лет		Нетренированные мужчины, 23-29 лет	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Потребление кислорода	мл/мин·кг	16	33	33	47	30	48	31	43	35	58	24	30	33	41
	% от МКК	-	-	50	78	43	73	47	71	49	79	42	54	54	68
Минутный объем дыхания	л/мин	12	20	25	41	48	80	36	61	60	95	35	59	45	71
Концентрация лактата в капиллярной крови	мм/л	1,1	3,3	1,8	3,7	1,8	4,0	2,0	4,0	2,0	4,2	2,0	4,1	2,2	4,1

чески здоровые мужчины 55-65 лет и 9 мужчин в возрасте 45-60 лет, перенесших инфаркт миокарда. Наряду с оптимальной скоростью, выявлялось оптимальное сочетание длины и частоты шагов. Средние величины наиболее экономичной скорости, длины и частоты шагов собраны в табл.3.

Б. Наиболее экономичные режимы бега, сведения о которых собраны в табл.4, найдены при беге на тредбане и по гараевой дорожке стадиона в удобной обуви. В таблицу включены также величины длины шагов при наиболее экономичной скорости. В исследованиях участвовали практически здоровые, физически не утомленные люди.

В. Наиболее экономичные режимы передвижения на лыжах изучены только для двухшажно-поперечного хода. Исследования лыжников проводили в безветренную погоду при температуре воздуха от -5 до -15°C. Коэффициент скольжения лыж по снегу измеряли по методу В.Н.Манжосова и специальными приемами добивались его поддержания на уровне не выше 0,05 и неизменности от опыта к опыту. Полученные результаты сведены в табл.5.

Подобно предыдущей таблице, сведения об оптимальных режимах бега на лыжах дополнены величинами частоты шагов при наиболее экономичной скорости передвижения.

3.3. Наиболее экономичные режимы циклических движений в усложненных условиях

Выше было показано, что границы зоны экономичных режимов закономерно зависят от возраста, пола, уровня физической тренированности. Можно предположить, что определяющую роль в этих различиях играет физическая работоспособность человека. Вместе с тем известно, что физическая работоспособность заметно снижается в усложненных условиях: в состоянии утомления, при повышенной внешней температуре и т.п. Поэтому характеристика зоны экономичных режимов будет неполной, если не принимать во внимание изменения пороговой и оптимальной мощности и скорости, возникающие под влиянием усложняющих факторов. Ниже представлены экспериментальные данные о том, как отражаются на наиболее экономичных режимах циклической мышечной работы утомление и повышенная температура воздуха. Эти два фактора весьма важны для характеристики условий, в которых протекает спортивная и оговорительная двигательная деятельность.

Таблица 3

Оптимальные величины скорости, длины и частоты шагов при ходьбе людей разного возраста и пола ($\bar{X} \pm m$)

Характеристика испытуемых	Мальчики		Юноши	Мужчины	Женщины	Мужчины	
	5-7 лет	10-12 лет	15-18 лет	20-22 лет	20-22 лет	55-65 лет здоровые	45-60 лет постинфарктные
Оптимальная скорость (м/с)	$1,00 \pm 0,07$	$1,51 \pm 0,07$	$1,72 \pm 0,04$	$1,81 \pm 0,04$	$1,74 \pm 0,06$	$1,61 \pm 0,07$	$1,20 \pm 0,08$
Оптимальная длина шага (см)	$50,0 \pm 2,1$	$69,7 \pm 2,5$	$82,0 \pm 1,1$	$87,1 \pm 1,7$	$78,4 \pm 2,0$	$78,3 \pm 2,4$	$65,7 \pm 3,1$
Оптимальная частота шагов (1/с)	$2,00 \pm 0,08$	$2,17 \pm 0,09$	$2,10 \pm 0,06$	$2,08 \pm 0,06$	$2,22 \pm 0,07$	$2,06 \pm 0,07$	$1,83 \pm 0,09$

Таблица 4

Наиболее экономичная и пороговая скорость бега у людей разного
возраста и пола ($\bar{X} \pm m$)

Характерис- тика испы- туемых	Мальчики		Юные спорт-	Юные спорт-	Мужчины	Женщины	Мужчины
	5-7 лет	10-12 лет	15-16 лет	15-16 лет	20-22 лет	20-22 лет	20-22 лет
	спортсмены						
Оптимальная скорость (м/с)	2,15±0,11	2,53±0,07	3,55±0,02	3,20±0,03	3,15±0,03	2,71±0,05	4,02±0,03
Оптимальная длина шага (см)	67,9±3,2	96,3±2,1	126,8±3,2	115,3±3,4	116,7±4,0	105,0±4,2	146,8±3,3
Анаэробный порог (л/с)	2,95±0,09	3,10±0,08	4,47±0,08	3,76±0,09	4,08±0,09	3,31±0,11	5,02±0,07

Таблица 5

Возрастные и половые особенности границ зоны экономичных режимов при передвижении на лыжах попеременным двухшажным ходом ($\bar{x} \pm m$)

Характеристика испытуемых	Первоурядники 15-16 лет	Первоурядницы 15-16 лет	КМС и МС 19-29 лет	Мужчины 18-26 лет
Оптимальная скорость (м/с)	3,72 \pm 0,07	3,55 \pm 0,08	4,55 \pm 0,06	4,33 \pm 0,07
Оптимальная частота шагов (1/с)	1,80 \pm 0,06	1,83 \pm 0,07	1,74 \pm 0,05	1,77 \pm 0,06
Анаэробный порог (м/с)	4,62 \pm 0,08	4,20 \pm 0,09	5,30 \pm 0,06	5,08 \pm 0,07

А. Влияние физического утомления на локализацию зоны экономичных режимов у людей разного возраста и физической подготовленности изучали следующим образом: вначале измеряли величины наиболее экономичной и пороговой скорости, затем человек выполнял непрерывную мышечную работу при интенсивности, соответствующей анаэробному порогу. Когда через 1,5–2,5 часа работа прекращалась (ввиду усталости), вновь определяли границы зоны экономичных режимов.

В результате установлено, что физическое утомление снижает величину наиболее экономичной скорости на 5–10% как у физически тренированных, так и у нетренированных людей. У физически тренированных людей разного возраста (от 10 до 28 лет) статистически значительно уменьшается и скорость передвижения, соответствующая анаэробному порогу. У нетренированных людей количественных данных такого рода получить не удалось, поскольку в утомленном состоянии зависимость концентрации лактата в крови от скорости теряет свою каноническую форму. Это, по-видимому, объясняется тем, что в утомленном состоянии значительно снижаются запасы гликогена в мышцах.

Б. Повышенная внешняя температура оказывает существенное влияние на энергетические системы человека и величины наиболее экономичной скорости передвижения. Достаточно сказать, что нагревание воздуха от 28 до 34°C (по влажному термометру) вдвое снижает предельный уровень потребления кислорода, при котором у человека сохраняется устойчивое состояние температуры тела. Повышение внешней температуры приводит к интенсификации гликолиза, повышению концентрации лактата в крови и снижению анаэробного порога. Сведения о температурной динамике зоны экономических режимов циклической мышечной работы крайне немногочисленны. В нескольких публикациях описана реакция анаэробного порога на повышение температуры окружающей среды. И лишь В.А. Заикин, а позднее В.Л. Уткин исследовали зависимость оптимальной скорости бега от температуры воздуха. Такие исследования обычно начинаются в лабораторных условиях, где испытуемые выполняют предельную работу ступенчато нарастающей мощности при температуре окружающего воздуха 20, 35 и 50°C. Для этого нужна термокамера, снабженная устройством для программированного регулирования температур. Пример получаемых результатов представлен в табл.6.

Таблица 6

Температурная динамика показателей энергетических систем (усредненные данные велоэргометрических исследований в термокамере)

Программируемая температура (°C)	МПК (мл/мин)	АТ (% от МПК)
20	4800	68,4
35	4710	61,0
50	4280	46,7

Примечание. За время тестирования испытуемые теряли в весе до 2,5 кг, поэтому в таблице представлены абсолютные величины МПК; масса тела испытуемых, измеренная до начала тестирования, составила (в среднем) 66,5±0,2 кг.

Затем исследования переносятся на стадион, где испытуемые ходят и бегают рано утром (при умеренной температуре) и днем в жару. Полученные результаты представлены в табл.7.

Таблица 7

Температурная динамика наиболее экономичной скорости ходьбы и бега ($\bar{X} \pm m$) у взрослого человека

Температура, °C ^x	Оптимальная скорость ходьбы	Оптимальная скорость бега	Значимость различий ^{xx}			
			ходьбы		бега	
			t	p	t	p
20,6±1,8	1,7±0,09	3,8±0,08	-	-	-	-
34,1±1,3	1,6±0,22	3,5±0,17	0,43	0,2	1,59	0,2
47,4±2,1	1,2±0,19	2,7±0,26	2,24	0,1	4,04	0,01

^x) По шкале сухого термометра.

^{xx}) По отношению к величине оптимальной скорости в условиях нормальной температуры.

Таким образом, имеют место закономерные изменения оптимальных режимов ходьбы и бега, развивающиеся с ростом внешней температуры. Анализируя содержание таблицы, нужно учитывать, что испытуемыми были коренные жители аридной зоны, адаптированные к условиям жаркого климата.

Таковы современные сведения о наиболее экономичных режимах циклических движений. Более подробную информацию о физиологических и биомеханических закономерностях, объясняющих приведенные здесь факты, заинтересованный читатель найдет в дополнительной литературе.

4. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПО МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РЕЖИМЫ ЦИКЛИЧЕСКОЙ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

В настоящем разделе представлены сведения о наиболее производительных режимах циклических движений. Весь материал раздела делится на две части. В первой части рассматривается оптимальная динамика механической мощности, а во второй – оптимальная динамика соревновательной скорости в различных видах спорта.

4.1. Наиболее производительная динамика механической мощности

На рис. 2 представлены оптимальные (по механической производительности) графики динамики механической мощности, рассчитанные для людей разного возраста, выполняющих предельную (до отказа) мышечную работу продолжительностью 5 мин. Наиболее производительная раскладка отличается от равномерной существенно повышенной стартовой мощностью. Выигрыш по механической производительности лежит в пределах 2–3% при 5-минутной предельной работе и возрастает при сокращении продолжительности упражнения (табл. 8).

Таблица 8

Механическая производительность предельной мышечной работы субмаксимальной относительной мощности у тренированных людей разного возраста (результаты имитационного моделирования)

Продолжительность работы (с)	Возраст (лет)	Предельный объем механической работы (кДж)	
		при постоянной мощности	при оптимальной по производительности динамике мощности
60	11–12	11,5	12,3
	15–17	24,3	27,8
	20–25	29,3	31,9
300	11–12	49,1	50,2
	15–17	94,9	98,1
	20–25	114,5	118,1

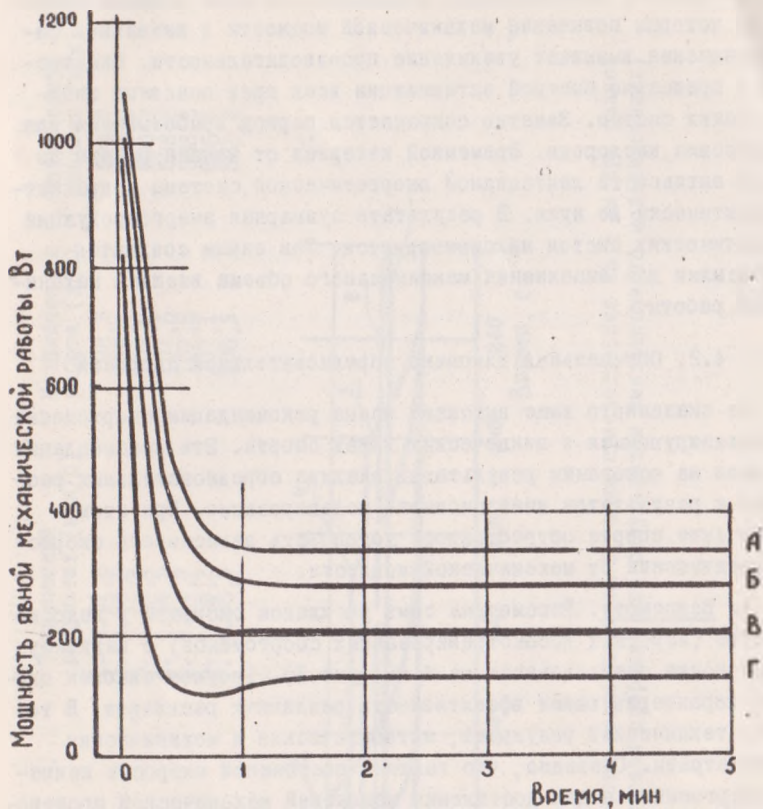


Рис.2. Оптимальная по механической производительности динамика механической мощности при выполнении 5-минутной предельной работы:

- А - тренированные мужчины 20-25 лет;
- Б - тренированные юноши 15-17 лет;
- В - нетренированные юноши 15-17 лет;
- Г - тренированные дети 11-12 лет

В процессе имитационного моделирования были вскрыты причины, по которым повышение механической мощности в начальной фазе упражнения вызывает увеличение производительности. Они состоят в предельно быстрой активизации всех трех основных энергетических систем. Заметно сокращается период вработывания для потребления кислорода. Временной интервал от начала работы до начала активности лактацидной энергетической системы сокращается практически до нуля. В результате суммарная энергопродукция энергетических систем максимизируется. Тем самым создаются предпосылки для выполнения максимального объема внешней механической работы.

4.2. Оптимальная динамика соревновательной скорости

Из сказанного выше вытекают ясные рекомендации спортсменам, специализирующимся в циклических видах спорта. Эти рекомендации делаются на основании результатов анализа соревновательных раскладок и результатов имитационного моделирования. При этом в каждом виде спорта потребовалось установить зависимость скорости передвижения от механической мощности.

А. Велоспорт. Рассмотрим семь раскладок скорости у велосипедистов (взрослых высокотренированных спортсменов) в индивидуальной гонке преследования на 4 км (рис.3). Рисунок снабжен цифрами, характеризующими эффективность различных раскладок. В том числе: технический результат, метаболические и механические энергозатраты. Очевидно, что тактика постоянной скорости наименее энергоемка, а для достижения наивысшей механической производительности и, следовательно, наивысшего спортивного результата необходимо со старта развивать как можно более высокую скорость.

Оптимальная динамика скорости индивидуальна; она зависит от возраста и физической тренированности. Рекомендуемая разница между стартовой и среднедистанционной скоростью тем больше, чем выше емкость и мощность фосфагенной и лактацидной энергетических систем.

Б. Плавание. Наиболее целесообразным тактическим вариантом в плавании считается такой, при котором скорость проплывания дистанции неизменна от старта до финиша. Вместе с тем раскладки победителей крупнейших соревнований достаточно далеки от равномер-

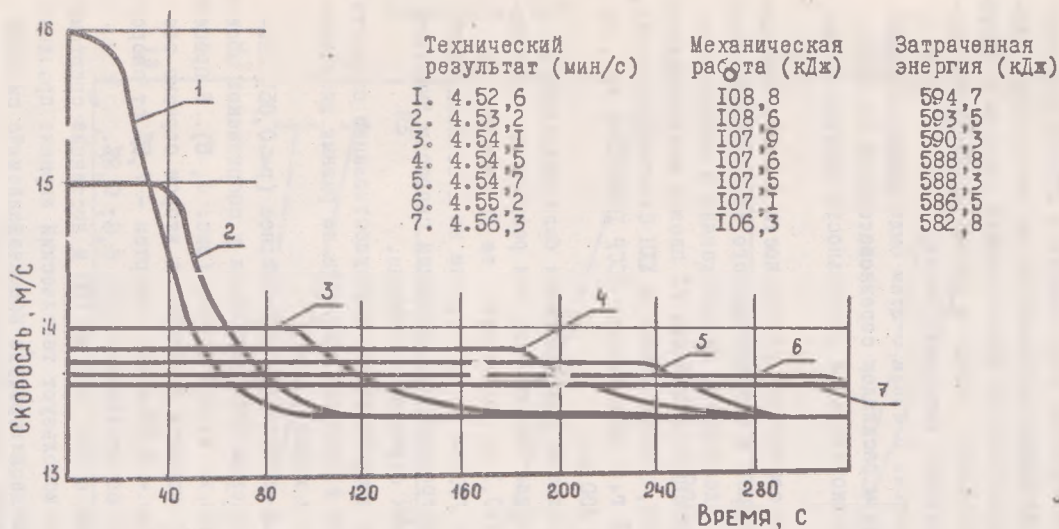


Рис.3. Динамика скорости велосипедиста в гонке преследования на 4 км при разной величине стартовой скорости (по результатам имитационного моделирования)

ных. В целесообразности равномерной раскладки заставляют усомниться и результаты биомеханического анализа и имитационного моделирования соревновательной деятельности в других циклических видах спорта. В настоящем исследовании за основу было взято представление о сравнительной эффективности техники и тактики двигательной деятельности, когда за эталон принимаются биомеханические характеристики движений, зарегистрированных у спортсменов экстра-класса. В связи с этим были выявлены наиболее характерные варианты раскладок соревновательной скорости путем регистрации соревновательной деятельности ведущих пловцов мира.

Регистрация соревновательной деятельности пловцов проводилась с помощью видеозаписи и автоматического хронометрирования. Применялась методика видеозаписи, разработанная в лаборатории плавания ВНИИФКа. Получены спидограммы \dot{V} пловца международного класса, мужчин и женщин, участвовавших в XXII Олимпийских играх, чемпионате Европы 1981 г. и чемпионатах СССР 1981-1982 гг., на дистанциях 100, 200 и 400 м.

При анализе результатов все участники были разделены на две группы. В первую вошли спортсмены, чьи результаты отличаются не более чем на 0,2-0,3 с. Во вторую - те спортсмены, чьи результаты ниже первой группы не менее, чем на 1 с. Анализировались спидограммы, построенные по значениям скорости "чистого плавания" на 25-метровых отрезках дистанции.

Анализ спидограмм свидетельствует о существовании статистически значимых различий в динамике скорости на разных дистанциях как у мужчин, так и у женщин.

На дистанции 100 м наблюдается достоверное ($p < 0,05$) снижение скорости на протяжении всей дистанции у спортсменов обоего пола как в первой, так и во второй группе (рис. 4, 5). В процентном выражении снижение скорости у женщин на втором отрезке составляет 2,4%, на третьем - 6,2% и на четвертом - 7,5% от скорости на первом. У мужчин соответственно 1,8; 6,6; 9,8%.

Можно сделать вывод о том, что на 100 м дистанции спортсмены высокой квалификации используют тактический вариант проплывания дистанции, известный в литературе под названием "с сильным началом" (или "во-всю"), что согласуется с данными Каунсилмена (1972).

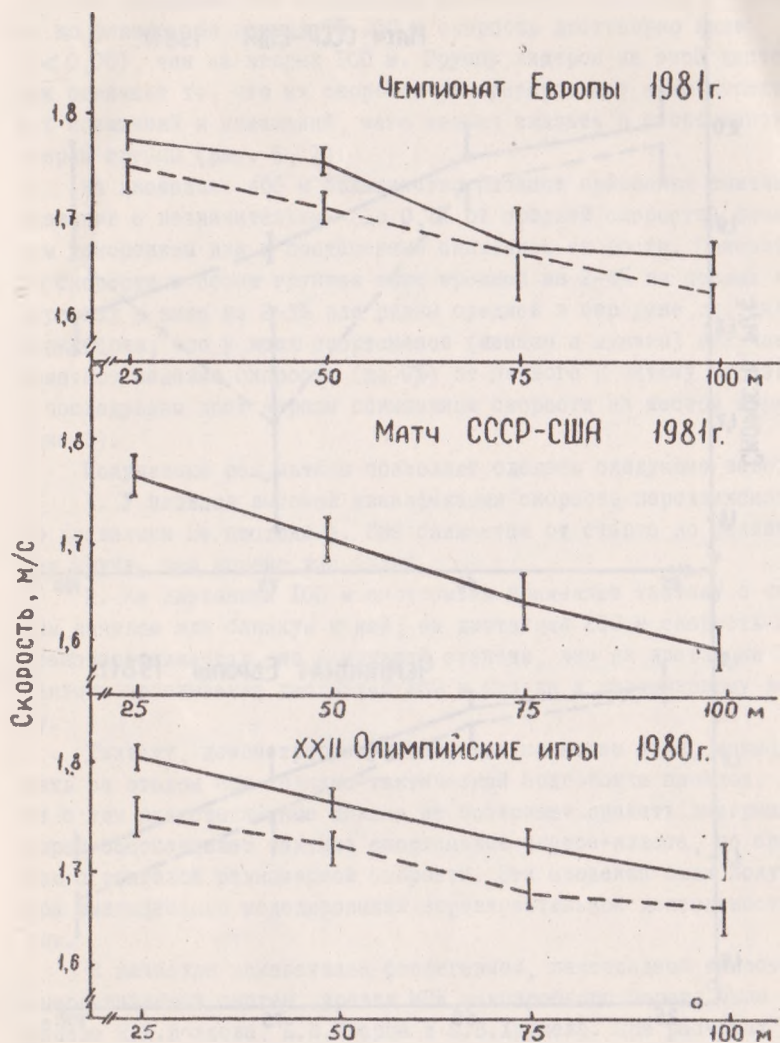


Рис. 4. Динамика скорости проплыwania дистанции 100 м вольный стиль, женщины

○ — I группа; - - - - 2 группа

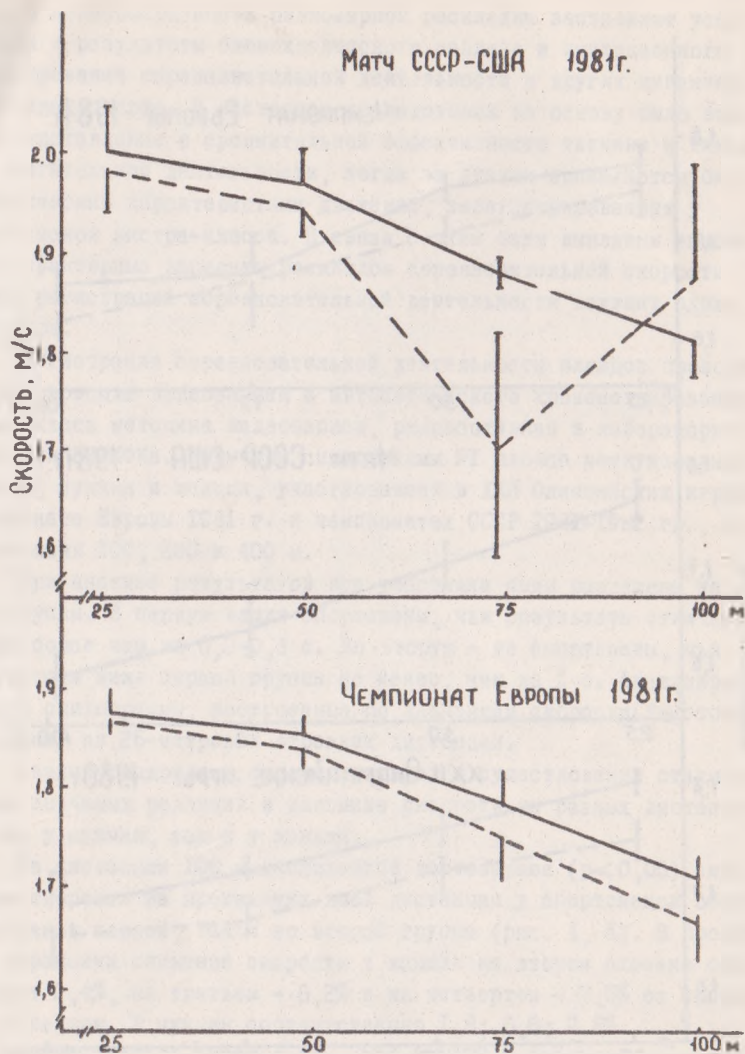


Рис.5. Динамика скорости проплывания дистанции 100 м вольный стиль, мужчины
 — I группа; - - - - 2 группа

На дистанции 200 м скорость постепенно снижается от старта до финиша. На первых 75-100 м скорость достоверно выше ($p < 0,05$), чем на вторых 100 м. Группу лидеров на этой дистанции отличает то, что их скорость не претерпевает ярко выраженных повышений и понижений, чего нельзя сказать о спортсменах второй группы (рис. 6, 7).

На дистанции 400 м большинство пловцов применяют тактику плавания с незначительным (до 0,7% от средней скорости) финишным ускорением или с постепенным снижением скорости. Показатели скорости в обеих группах выше средней на 2-4% на первых трех отрезках и ниже на 2-3% или равны средней в середине дистанции. Характерно, что у всех спортсменов (женщин и мужчин) отмечается заметное падение скорости (до 9%) от первого к пятому отрезку с последующим достоверным повышением скорости на шестом отрезке (рис.8).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. У пловцов высокой квалификации скорость передвижения по дистанции не постоянна. Она снижается от старта до финиша тем круче, чем короче дистанция.

2. На дистанции 100 м спортсмены применяют тактику с сильным началом или близкую к ней; на дистанции 200 м скорость постепенно снижается, но в меньшей степени, чем на дистанции 100 м; тактика проплывания дистанций 400 м близка к равномерному варианту.

Тактику, демонстрируемую ведущими пловцами мира, можно принять за эталон при технико-тактической подготовке пловцов. Вместе с тем представленные данные не позволяют оценить выигрыш, который обеспечивает тактика спортсменов экстра-класса, по сравнению с тактикой равномерной скорости. Эти сведения были получены при имитационном моделировании соревновательной деятельности пловцов.

В качестве показателей фосфагенной, лактацидной емкости энергетических систем, уровня МПК, анаэробного порога были взяты данные Н.И.Волкова, Б.В.Шварца и С.В.Хрущева. При расчетах использовалась зависимость явной механической мощности от скорости плавания с учетом данных гидродинамического сопротивления пловца, полученных Э.Б.Иссуриным. В своих исследованиях В.Б.Иссурин учитывал внутр цикловые колебания скорости при плавании кролем и раз-

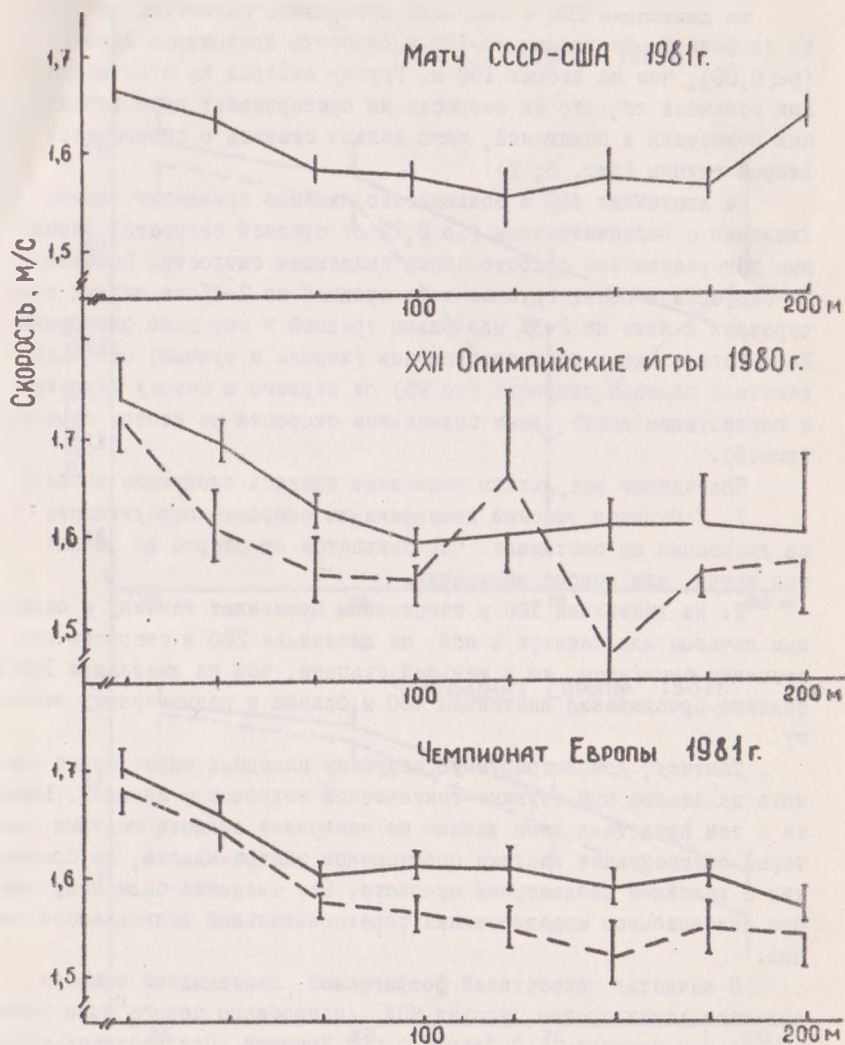


Рис.6. Динамика скорости проплывания дистанции 200 м вольный стиль, женщины

— I группа; - - - - 2 группа

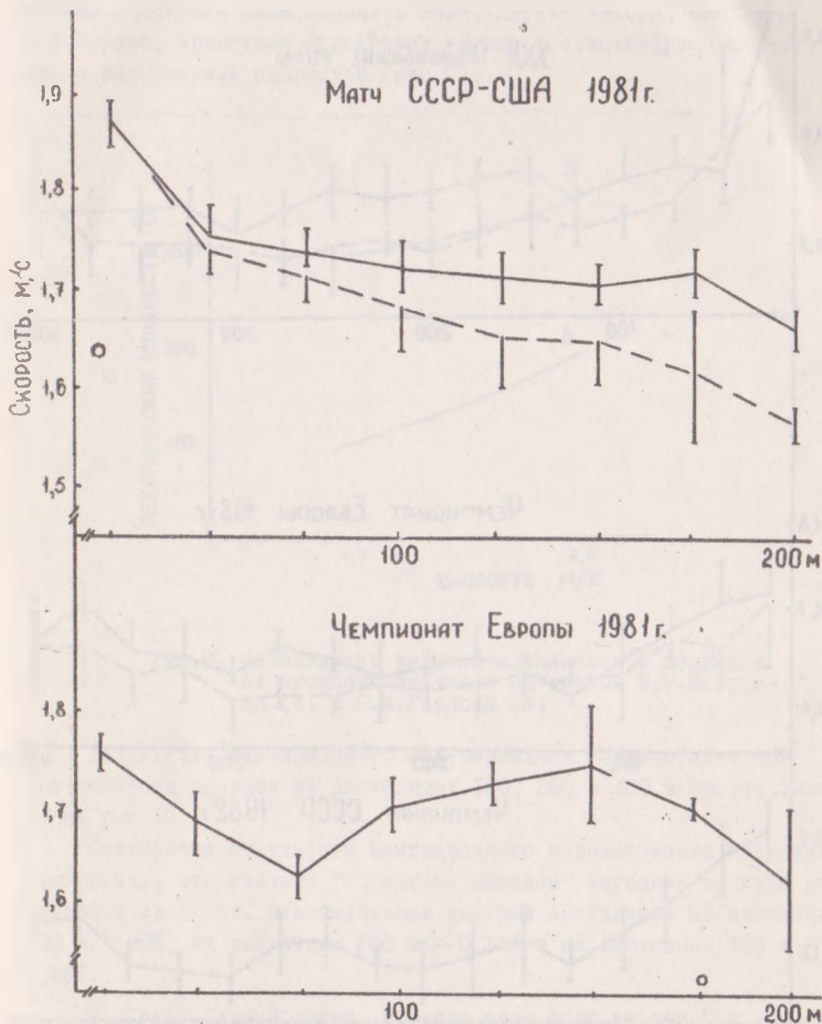


Рис.7. Динамика скорости проплывания дистанции 200 м вольный стиль, мужчины
 — I группа; - - - 2 группа

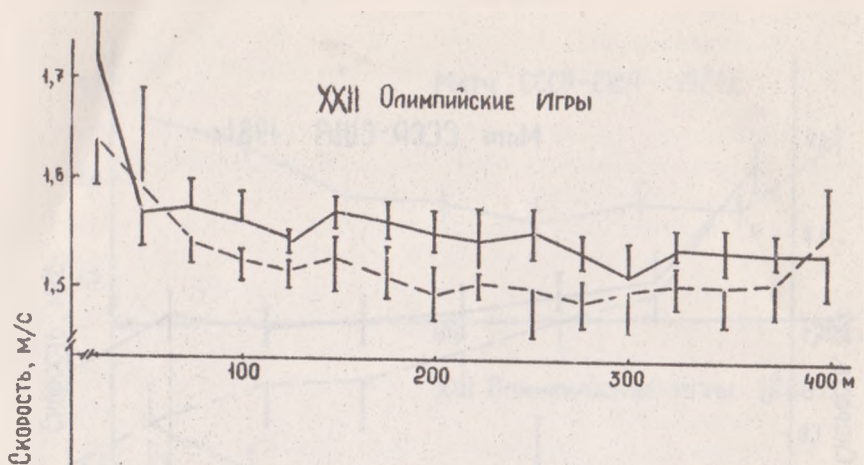


Рис. 8. Динамика скорости проплывания дистанции 400 м вольный стиль, мужчины

— I группа; --- 2 группа

личные положения тела пловца в воде. Другие авторы, например С.М.Гордон, применяли буксировку пловца в стационарном положении с равномерной скоростью (рис.9).

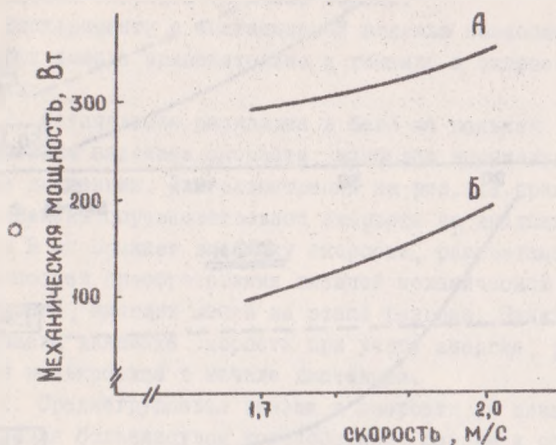


Рис.9. Зависимость внешней механической мощности от скорости плавания по данным В.Б.Иссурина (А) и С.М.Гордона (Б)

Результаты имитационного моделирования соревновательной деятельности пловцов на дистанциях 100, 200 и 400 м представлены на рис.10.

Полученные результаты имитационного моделирования позволяют утверждать, что тактика "с сильным началом" выгоднее тактики равномерной скорости. Относительный выигрыш составляет на дистанции 100 м 1,85%, на дистанции 200 м - 0,34% и на дистанции 400 м - 0,26%.

В Конькобежный спорт. В скоростном беге на коньках вопросы оптимально- тактики прохождения соревновательных дистанций давно дискутируются, но остаются нерешенными и сохраняют актуальность до настоящего времени. Большинство исследователей и специалистов в этом виде спорта рекомендуют применять тактику равномерной скорости. В то же время реальная динамика скорости, демонстрируемая

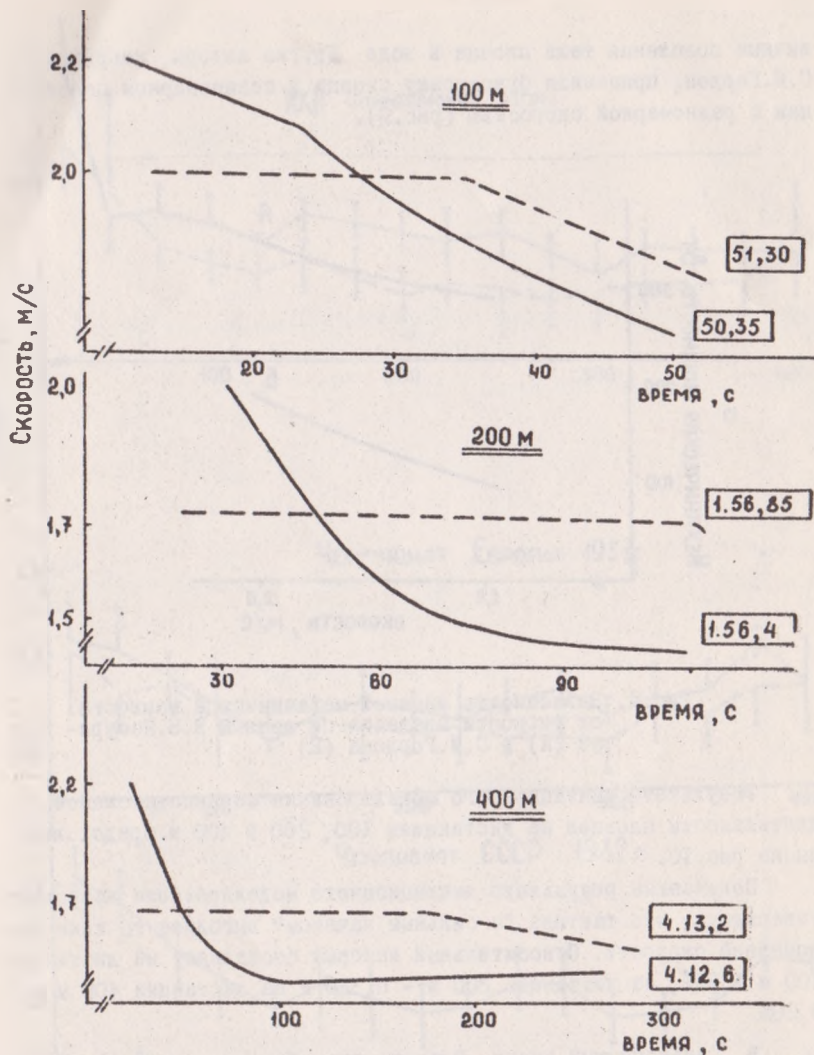


Рис.10. Сравнение двух тактических вариантов проплывания дистанций 100, 200 и 400 м по результатам имитационного моделирования:

- тактика "с сильным началом"
- - - - тактика равномерной скорости

конькобежцами в соревнованиях любого ранга, далека от равномерной, что подтверждают те же самые авторы. Как правило, бег протекает с постепенным замедлением скорости, исключая фазу стартового разгона. Кроме того, отмечено, что чем короче дистанция, тем падение скорости выражено больше.

Эксперименты с имитационной моделью позволяют сделать три основных вывода применительно к тактике в скоростном беге на коньках:

1. Оптимальная раскладка в беге на коньках характеризуется постепенным падением скорости, наиболее выраженным в первой половине дистанции. Для иллюстрации на рис. II приведена характерная динамика соревновательной скорости на дистанции 3000 м. График В отображает динамику скорости, рассчитанную без учета особенностей преобразования внешней механической работы в скорость бега, имеющих место на этапе разгона. Пунктирной линией изображена динамика скорости при учете энергии, расходуемой на разгон конькобежца в начале дистанции.

2. Среднегрупповая динамика скорости (и динамика скорости, избираемая большинством конькобежцев) близка к оптимальной, получаемой в результате имитационного моделирования на ЭВМ. Как видно из рис. II, динамика скорости бега на дистанции 3000 м у группы конькобежцев, мастеров спорта (средние значения скорости по кругам дистанции, график А) совпадает с изменениями скорости, полученными при имитационном моделировании (график Б), с использованием данных тестирования этой группы конькобежцев. Заметим также, что и спортивные результаты в соревнованиях (4:29,8) и при имитационном моделировании (4:26,9) оказались близкими. Таким образом, результаты моделирования подтверждают гипотезу о том, что большинство спортсменов в процессе прохождения соревновательных дистанций выбирают близкую к оптимальной раскладку скорости, которая, в свою очередь, определяется соотношением аэробного и анаэробного компонентов энергообеспечения двигательной деятельности.

3. Возможности тактической борьбы и оптимальная раскладка в беге на коньках определяются индивидуальными характеристиками системы энергообеспечения конкретного конькобежца. Для спортсменов с преимущественно аэробным характером энергообеспечения (высокий уровень максимального потребления кислорода при сравнительно

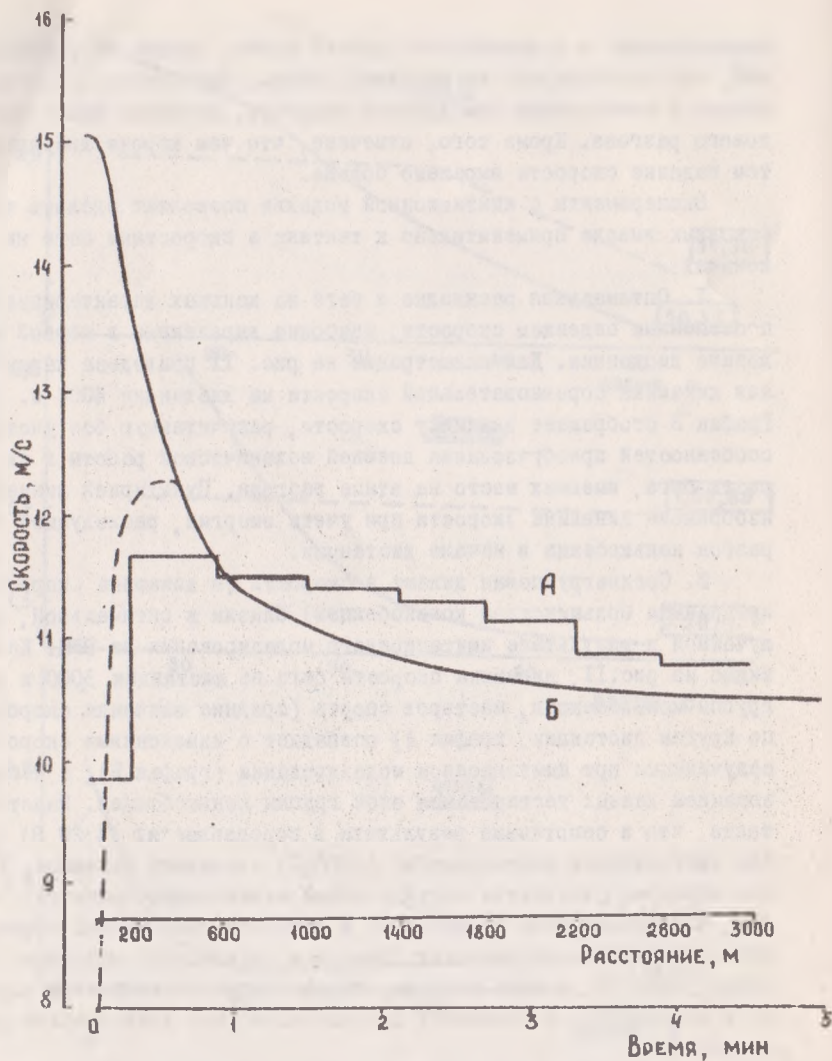


Рис. II. Динамика скорости при пробегании дистанции 3000 м; график А - в условиях соревнований; график Б - при имитационном моделировании на ЭМ

невысокой емкости анаэробных источников энергии), после стартового разгона следует придерживаться равномерной скорости, соответствующей их аэробным возможностям и стремиться сохранять эту скорость до конца дистанции. График скорости для таких конькобежцев при прохождении дистанции 3000 м представлен на рис.12, график А.

Для конькобежцев, обладающих высоким анаэробным потенциалом, целесообразно пробегать первую половину дистанции с высокой скоростью для того, чтобы максимально использовать аэробные возможности. Закономерное падение скорости к концу дистанции является следствием истощения анаэробных источников энергии спортсмена (график Б на рис.12), однако выигрыш в скорости на первых трех-четыре кругах позволит показать высокий спортивный результат.

Г. Биатлон. Специфическая особенность биатлона заключается в сочетании в одном соревновании двух видов спорта - лыжной гонки и стрельбы. Многократное чередование двух различных упражнений ставит целый ряд проблем, без решения которых невозможна оптимизация деятельности биатлонистов. Наиболее сложным является нахождение компромиссного решения при оптимизации соревновательной деятельности по двум антагонистическим критериям оптимальности - скорости гонки и точности стрельбы.

Соревновательная деятельность биатлониста состоит из трех частей: гонки на этапе, подход к огневому рубежу, двигательная деятельность на нем. Установлено, что у высококвалифицированных биатлонистов каждый этап гонки относительно самостоятелен, и оптимизация деятельности спортсмена на каждом из этапов может осуществляться практически без учета результатов его деятельности на предыдущих этапах гонки.

Для изучения динамики скорости биатлонистов были составлены таблицы средних скоростей передвижения на каждом участке дистанции в гонке на 20 км^{х)}. Затем все участники соревнований были разбиты на группы по 10 спортсменов таким образом, что в первую группу вошли спортсмены, занявшие места с первого по десятое, во вторую - с одиннадцатого по двадцатое и т.д. После этого вычисляли средние арифметические значения скорости на этапах в каждой группе (рис.13).

^{х)} Аналогичным образом была проанализирована и соревновательная деятельность биатлонистов в гонках на 10 и 15 км.

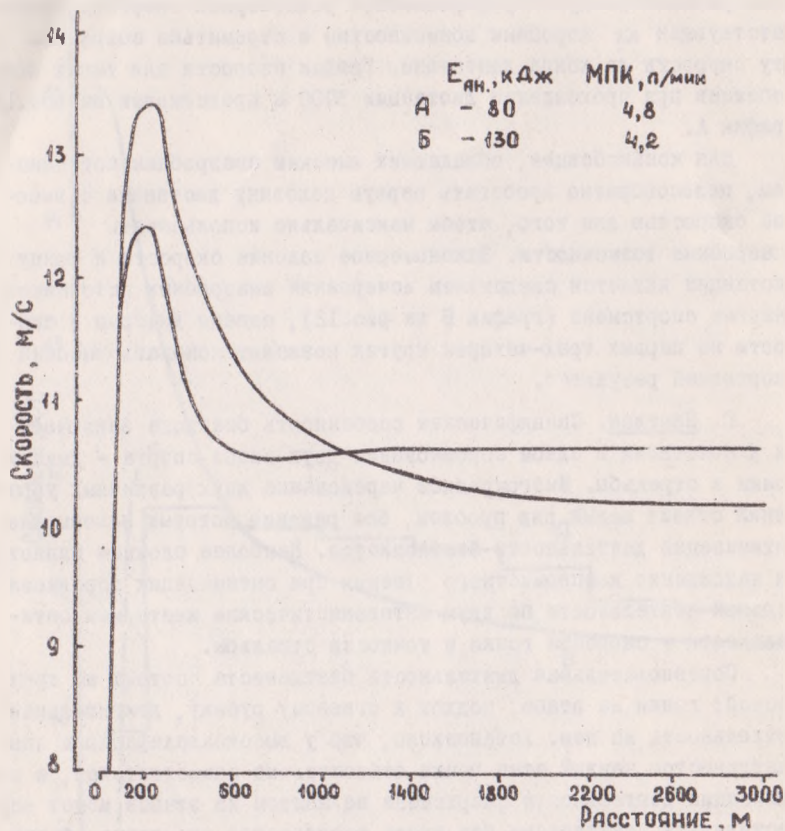


Рис.12. Оптимальная скорость прохождения дистанции 3000 м у конькобежцев с различным соотношением аэробных и анаэробных источников энергии

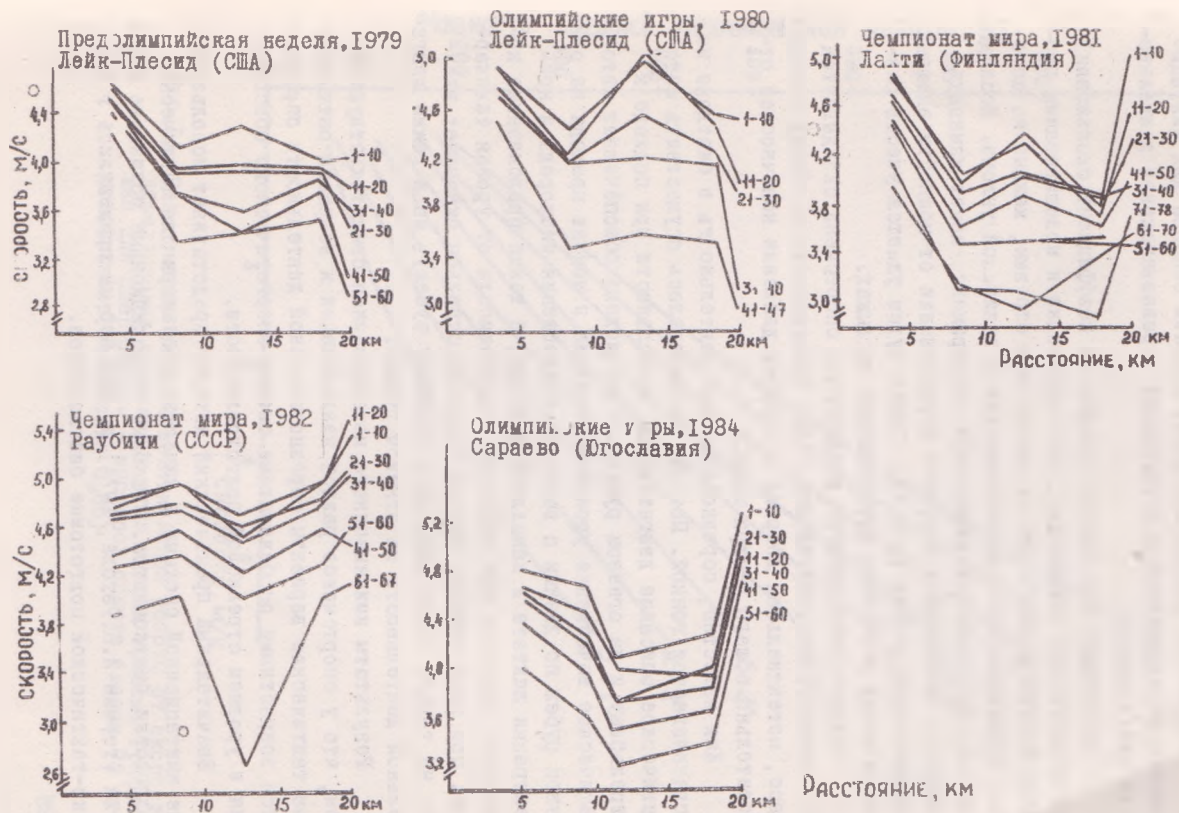


Рис. 13. Динамика дистанционной скорости у биатлонистов в гонке на 20 км на крупнейших международных соревнованиях 1979-1984 гг.

Полученные результаты могут служить основой для имитационного моделирования и оптимизации соревновательной деятельности биатлонистов.

Характеристика трассы (профиль и коэффициент скольжения) предполагаются известными; при подготовке к моделированию профиль трассы разбивается на однородные отрезки, каждый из которых характеризуется протяженностью и величиной уклона. Исследователь, проводящий имитационный эксперимент, может изменять характер зависимости скорости передвижения от мощности внешней механической работы (рис. 14). Таким путем удастся учесть различия между способами передвижения на лыжах.

Механическая энергия движущегося спортсмена складывается из кинетической энергии его тела, приведенного к общему центру масс, потенциальной энергии и энергии движения конечностей относительно общего центра масс.

Как известно, соревновательная деятельность в биатлоне не ограничивается гонкой. Поэтому потребовалось осуществить математическое описание двигательной деятельности при подходе к стрельбищу и на огневом рубеже. Наша модель обеспечивает автоматическое вычисление уровня тахикардии в момент прихода на огневой рубеж по данным о величине потребления кислорода и концентрации лактата в капиллярной крови, а также предсказание количества промахов при стрельбе в зависимости от уровня тахикардии. При этом учтено, что на точность стрельбы оказывает влияние не только режим подхода к огневому рубежу, но и режим двигательной деятельности на огневом рубеже.

Результаты имитационного моделирования свидетельствуют о том, что у спортсменов разной квалификации и возраста оптимальные тактические варианты соревновательной деятельности определяются возрастными особенностями систем энергетического обеспечения и уровнем стрелковой подготовленности.

Значительный практический интерес представляет использование имитационной системы в качестве тренажера для тактической подготовки биатлонистов. Подобные нетрадиционные обучающие средства (термин И.П. Ратова, 1974) до сих пор не применялись в технико-тактической подготовке биатлонистов.

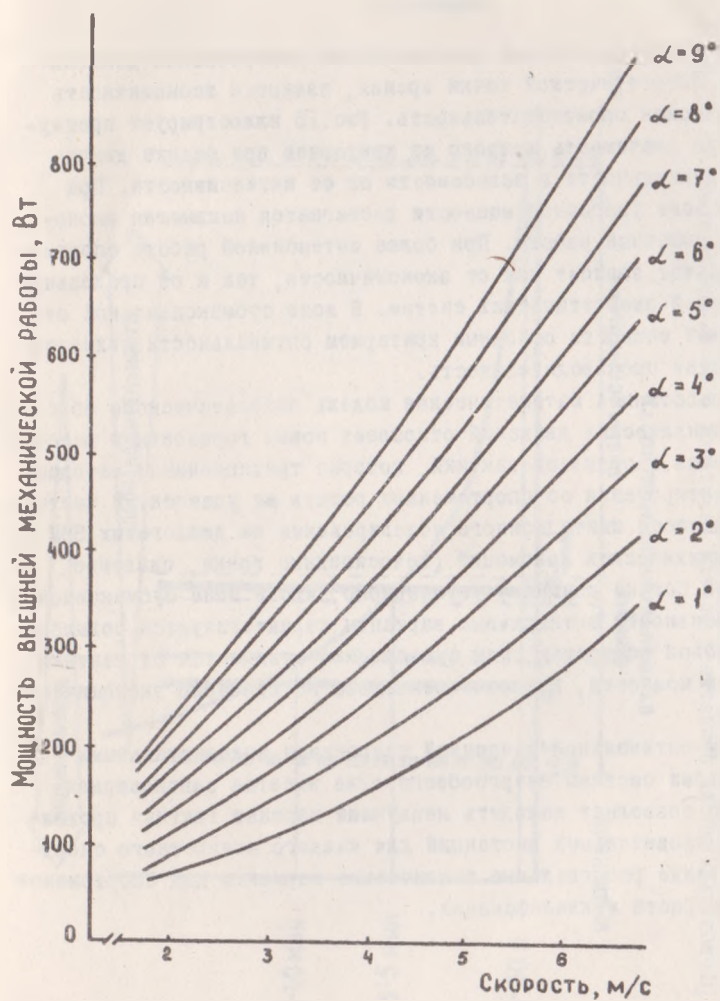


Рис. I4. Зависимость внешней механической работы от скорости передвижения на лыжах и угла уклона трассы. График дан для спортсменов - мастеров спорта (масса 70 кг, коэффициент скольжения 0,05)

Заключение

Основными критериями оптимальности двигательной деятельности, с энергетической точки зрения, являются экономичность и механическая производительность. Рис.15 иллюстрирует преимущественную значимость каждого из критериев при оценке двигательной деятельности в зависимости от ее интенсивности. При работе в зоне умеренной мощности достигается наивысшая экономичность мышечной работы. При более интенсивной работе спортивный результат зависит как от экономичности, так и от предельных возможностей энергетических систем. В зоне субмаксимальной относительной мощности основным критерием оптимальности является механическая производительность.

Разработанная математическая модель энергетического обеспечения циклических движений открывает новые горизонты в решении вопросов спортивной тактики, которые традиционными методами экспериментирования со спортсменами решать не удастся. В частности, в процессе имитационного моделирования на диалоговых ЭВМ тактики циклических локомоций (велосипедные гонки, плавание, скоростной бег на коньках) установлено, что в зоне субмаксимальной интенсивности оптимальные варианты характеризуются повышенной стартовой мощностью, чем существенно отличаются от тактики постоянной мощности, которая оптимальна по критерию экономичности.

Между оптимальной динамикой скорости и индивидуальными особенностями системы энергообеспечения имеется закономерная связь. Это позволяет находить наилучший вариант тактики прохождения соревновательных дистанций для каждого конкретного спортсмена, а также рациональные тактические варианты для спортсменов разного возраста и квалификации.

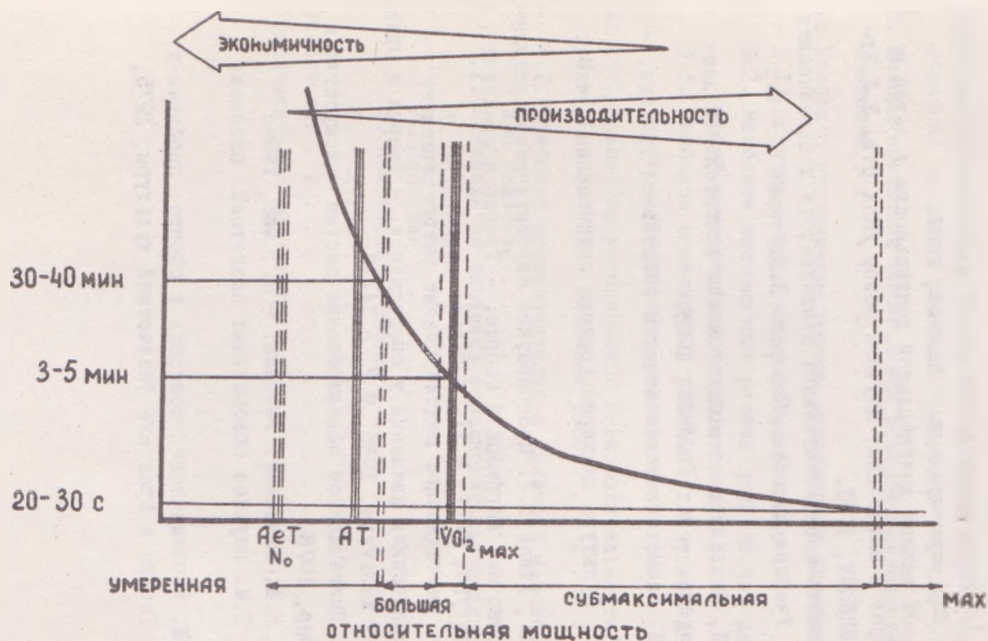


Рис.1Б. Продолжительность предельной работы различной относительной мощности (по Нилс, 1925; В.С.Фарфель, 1949 - переработано).
 Условные обозначения: N - оптимальная (наиболее экономичная) мощность, AeT - аэробный порог; AT - анаэробный порог; V_{O_2max} - максимальное потребление кислорода (МПК)

Литература

Уткин В.Л. Оптимизация двигательной деятельности человека (методологические основы). - М.: ГЦОЛИФК, 1981.

Оптимальные режимы двигательной деятельности у детей и взрослых в норме и патологии: Научный обзор /Под ред. В.Л.Уткина. - М.: ВНИИФК, 1981.

Эффективность соревновательной деятельности в циклических видах спорта: Учебное пособие /Под ред. В.Л.Уткина. - М.: ГЦОЛИФК, 1982.

Уткин В.Л. Имитационное моделирование двигательной деятельности человека. - М.: ГЦОЛИФК, 1983.

Уткин В.Л. Биомеханические аспекты спортивной тактики. - М.: ФиС, 1984.

Уткин В.Л. Культура движений (основы оптимизации). - М.: Знание, 1984.

Чепик В.Д., Уткин В.Л. Многократное автоматическое регулирование тренировочных нагрузок в спорте. - Теория и практика физической культуры, 1974, № II, с.61-67.

Уткин В.Л. Имитационное моделирование энергетического обеспечения циклических движений у спортсменов. - Теория и практика физической культуры, 1985, № 2, с.14-17.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. - М.: Мир, 1978.

Булгакова Н.Ж. Плавание: Учебник. - М.: ФиС, 1984.

Абсаямов Т.М. Научное обеспечение подготовки пловцов. - М.: ФиС, 1983.

Волков Н.И. Биохимический контроль в спорте: проблемы и перспективы. - Теория и практика физической культуры, 1975, № II, с.28-36.

Содержание

1. Теоретические предпосылки оптимизации циклических движений по энергетическим критериям	3
2. Методы выявления оптимальных режимов циклических движений	6
3. Наиболее экономичные режимы циклических движений	10
3.1. Понятие о зоне экономичных режимов	10
3.2. Наиболее экономичные режимы циклических движений в нормальных условиях	12
3.3. Наиболее экономичные режимы циклических движений в усложненных условиях	14
4: Оптимальные по механической производительности режимы циклической мышечной работы	20
4.1. Наиболее производительная динамика механической мощности	20
4.2. Оптимальная динамика соревновательной скорости	22
А. Велоспорт	22
Б. Плавание	22
В. Конькобежный спорт	31
Г. Биатлон	35
Заключение	40
Дополнительная литература	42

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СПОРТЕ И ПРИ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ
ЗАНЯТИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРОЙ

Методические разработки для студентов,
слушателей Высшей школы тренеров и факультета
усовершенствования ГЦОЛИФКа

Редактор И.Дубнова.

Корректор Н.Ушакова.

Подписано к печати 09.04.86.

Объем 2,8 уч.-изд.л.

Тираж 500 экз.

Зак. 1139

Издание Редакционно-издательского отдела ГЦОЛИФКа.

Учебно-произв. типография Спорткомитета СССР.
Москва, Мичуринский проспект, 40.