

Зайцев И.Ф. (Белорусский национальный технический университет);  
Попов В.П., канд. пед. наук, доцент, Заслуженный тренер Республики Беларусь  
(Белорусский государственный университет физической культуры)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЛОВЦА

**Спортивное плавание постоянно привлекает внимание специалистов по причине его большой медаляемости на Олимпийских играх, а также в силу множества нерешенных проблем. Статья посвящена исследованию закономерностей реализации скоростно-силовых возможностей пловцов. В работе сделана попытка на основе уравнения Хилла оценить скоростно-силовые возможности и выразить их в единицах, соизмеримых с механической мощностью.**

***Swimming consistently attracts the attention of experts due to the large number of medals awarded in this sport during the Olympic Games. This article discusses the regularities found during the development of speed explosive strength among swimmers. In this paper, an attempt is made to evaluate these speed-strength potentials on the basis of the Hill equation, and express them in terms commensurate with mechanical power.***

Современные исследования в области спортивной тренировки незаслуженно обходят вниманием основной закон мышечной динамики – закон Хилла [1], который распространяется на любое двигательное действие всех живых существ, в том числе и человека. Представляется чрезвычайно интересным по-новому, с точки зрения закона Хилла, оценить скоростно-силовые возможности гребущей конечности пловца в соотношении «сила–скорость» или «скорость–сила» и результат выразить в более понятных физических единицах, соизмеримых с мощностью исследуемого двигательного действия.

Исследуя механизмы достижения высоких скоростей перемещения в спорте, важно оценить насколько эффективно происходит превращение одних видов движения в другие. К примеру, в спорте это может быть сокращение рабочих мышц при перемещении спортсмена. В спортивном плавании к таким действиям относятся имитационные гребковые движения во время тренировок на суше и гребковые движения при перемещении пловца в потоке воды.

Для анализа этих действий практика плавания руководствуется представлениями, основанными преимущественно на силовых проявлениях, так популярных в мире плавания [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Очевидно, что все-таки сутью движения объекта является его перемещение в пространстве и времени. Если глав-

ной задачей пловца, особенно в спринтерском плавании, является создание гребущими конечностями серии максимальных, продвигающих вперед усилий, то тренеру важно получить объективную информацию о величине этих усилий и на основе этого принять соответствующее управляющее решение.

Однако специфика среды, в которой движется тело пловца и выполняются его гребковые действия, не позволяет общепринятыми способами получить объективную информацию о проявляемых усилиях. Достаточно продолжительное время в практике спортивного плавания широко применяется способ измерения статических усилий в положении имитации гребковых движений на суше при их сопоставлении с тяговыми усилиями на привязи в неподвижном слое воды с использованием жесткой, не стандартизированной тяги. Такой способ выражается через вычисление так называемого коэффициента использования силовых возможностей (КИСВ) [2, 3].

В то же время практика подтверждает, что обладание высоким КИСВ не является достаточно объективным показателем оценки специальной силовой подготовленности спортсмена и его способности к реализации силы в условиях реального плавания. Вероятнее всего, это имеет место из-за самой сути КИСВ, увязывающего воедино зависимыми статические напряжения мышц на суше и тяговые усилия, возникающие в результате гребковых действий пловца в неподвижном слое воды.

В спортивном плавании гребок в воде – это особый вид движения. Здесь гребковые движения реализуются в жидкой, не имеющей формы среде, в безопорном положении относительно общего центра массы тела пловца, что требует значительного уровня двигательных координационных способностей пловца. Заметим, что сила, прежде всего, – величина векторная. Векторы сил, действующих на гребущую конечность пловца в воде, из-за сложной траектории гребкового движения, крайне изменчивы по своей величине и направлениям. В результате чего имеются сложности в объективной оценке влияния результирующего вектора сил на скорость плавания.

В кинематике критерий эффективного превращения одного вида движения в другой, с учетом действующих сил и скоростей, принято выражать через коэффициент полезного действия (КПД), ког-

да определяется соотношение полезной и потребляемых мощностей, являющихся в своей сути невекторными величинами.

Для спринтерского плавания это наиболее интересно тем, что появляется возможность сопоставить запас мощности, приобретенной в процессе специальной физической подготовки на суше, с мощностью, проявляемой в гребковых движениях в воде на соревновательной скорости плавания. При этом следует отметить, что именно показатель двигательной деятельности спортсмена, выраженный через мощность, наиболее качественно отражает его скоростно-силовые возможности. То же относится и к отдельным биокинематическим звеньям, обеспечивающим специфические двигательные действия, например гребущие конечности пловца.

Зная, какой мощностью обладают гребущие конечности пловца на суше и какую мощность пловец может развить, перемещая свое тело в потоке воды с соответствующей скоростью, легко определить его КПД. Достижение более высокого КПД является одной из задач технической подготовки. Очевидно, что больше перспектив будет у пловца, способного достичь большей скорости плавания, развив при этом меньшую мощность гребковых движений. Далее, сопоставив КПД пловца с его максимальной скоростью плавания, можно получить *коэффициент реализации скоростно-силовой подготовленности пловца*, отражающий одновременно уровень его технической подготовленности и гидродинамические особенности тела самого пловца в потоке воды и устанавливающий оптимальную взаимосвязь между силовыми и скоростными проявлениями в гребковых движениях.

Определить скоростно-силовые возможности спортсмена в непосредственной связи со скоростью выполнения специфического двигательного действия можно на основе использования закона Хилла, графическое отражение которого показано на рисунке 1.

Уравнение, характеризующее закон Хилла, имеет вид:

$$V_0 = B(F_0 - F)/(F + A),$$

где  $F_0$  – максимальная сила мышцы при ее изометрическом режиме сокращения;

$V_0$  – максимальная скорость сокращения (укорочения) мышцы при отсутствии внешней нагрузки, создающей для нее сопротивление сокращению (укорочению);

$F$  – внешняя нагрузка, создающая для мышцы сопротивление ее сокращению (укорочению) при выполнении двигательного действия;

$A$  и  $B$  – константы характеристического уравнения.

Известно, что произведение силы и скорости движения есть мощность, развиваемая в этом движении. Следовательно, если определить площадь, ограниченную осями координат графика и кривой, характеризующей закон Хилла для конкретной мышцы или их совокупности (рисунок 1), можно оценить способность такой совокупности мышц к работе скоростно-силового характера. Причем способность мышц к работе скоростно-силового характера, выражается уже через величину, соразмерную мощности для соответствующей мышечной группы. Тогда, зная величину максимального напряжения мышц, работающих в изометрическом режиме, и максимальную скорость их сокращения при отсутствии внешней нагрузки, а также величину констант характеристического уравнения, можно с максимальной достоверностью определить скоростно-силовые возможности конкретной группы мышц, участвующих в двигательном действии и работающих в преодолевающем режиме.

Применяя закон Хилла к определению скоростно-силовых возможностей гребущих конечностей пловца, необходимо учесть следующие показатели зависимости «сила–скорость»:

$F_0$ гребка (Н) – максимальное усилие при имитации эффективной фазы гребкового движения на суше, измеренное в изометрическом режиме;

$V_0$ гребка (м/с) – максимальная скорость движения руки в эффективной фазе имитации гребка на суше при отсутствии внешней нагрузки (нулевая нагрузка);

$A$  и  $B$  – константы характеристического уравнения, где  $A = 0,25F_0$ гребка имеет размерность силы, выраженной в ньютонах, и  $B = 0,25V_0$ гребка имеет размерность скорости, выраженной в м/с.

Таким образом, применительно к гребущей конечности пловца закон Хилла определяется как

$$V_0\text{гребка} = B(F_0\text{гребка} - F\text{гребка})/(F\text{гребка} + A). \quad (1)$$

Из уравнения (1) определяем усилие гребущей конечности в соответствующий момент гребка:

$$F\text{гребка} = \frac{1,25F_0\text{гребка} \cdot V_0\text{гребка}}{V_0\text{гребка} + 0,25F_0\text{гребка}} - 0,25F_0\text{гребка}. \quad (2)$$

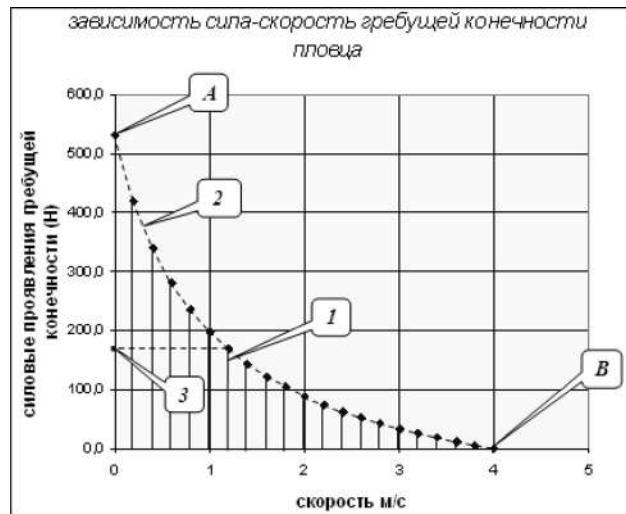
Полученное выражение (2) устанавливает взаимосвязь «скорость–сила» на разных скоростях движения гребущей конечности.

Скорость движения гребущей конечности при имитации гребкового движения на суше по траектории основной фазы гребка в некотором усредненном значении может изменяться от своего нулевого значения (изометрический режим сокращения мышц) до максимального. С учетом этого и с целью построения кривой, отражающей закон Хилла, определено 21 значение скоростей движения гребущей конечности с шагом по 0,20 м/с.

## СПОРТ ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ

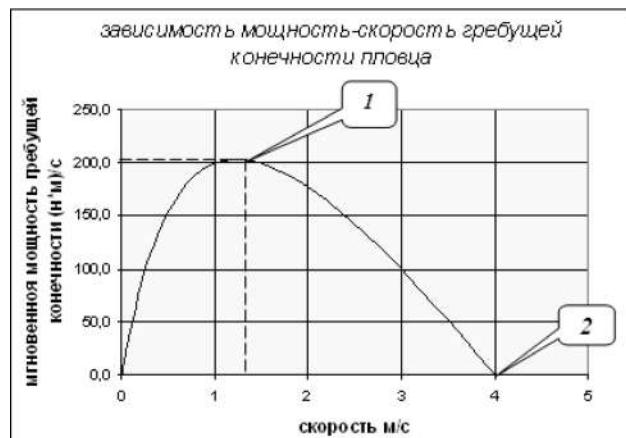
Указанные значения, по сути, – это 21 двигательное действие, имитирующее основную фазу гребка на различных его скоростях, от нулевой до максимальной, равной 4,0 м/с. Следует отметить, что все силовые проявления для каждого значения таких скоростей должны выполняться с **максимальной интенсивностью**.

На основании данных, размещенных в таблице, строятся графики зависимости «сила–скорость», показанные на рисунке 1, и «мощность–скорость» гребущей конечности пловца, изображенные на рисунке 2.



*A – точка пересечения линии 2 с вертикальной осью графика –  $F_0$ гребка; B – точка пересечения линии 2 с горизонтальной осью графика –  $V_0$ гребка; 1 – один из 21 значений максимальной скорости движения гребущей конечности пловца с шагом 0,2 м/с –  $V$ гребка; 2 – линия, проходящая через максимумы амплитуд скоростных отсчетов 1 закон Хилла для гребущей конечности пловца; 3 – силовое проявление гребущей конечности пловца ( $F$ гребка) на соответствующем значении скорости гребка ( $V$ гребка)*

Рисунок 1 – График зависимости «сила–скорость» гребущей конечности пловца



*1 – максимальное значение КПД мышечных сокращений при имитации гребковых движений на суше; 2 – максимальная скорость движения ненагруженной гребущей конечности, равная  $V_0$ гребка*

Рисунок 2 – График зависимости «мощность–скорость» гребущей конечности пловца

Далее определим значения усилий и мгновенных мощностей, соответствующих каждому значению скорости движения гребущей конечности. Из выражения (2) определяем  $F$ гребка и произведение  $F$ гребка на  $V$ гребка, являющееся мощностью имитационного гребкового движения. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица – Исходные данные и константы зависимости «сила–скорость–мощность» для гребущей конечности пловца

$F_0$ гребка (Н)	$B = F_0/4$	$A = V_0/4$
530	132,5	1,0
$F$ гребка (Н)	$P$ гребка (Вт)	$V$ гребка (м/с)
530,0	0,0	0
419,6	83,9	0,2
340,7	136,3	0,4
281,6	168,9	0,6
235,6	188,4	0,8
198,8	198,8	1
168,6	202,4	1,2
143,5	201,0	1,4
122,3	195,7	1,6
104,1	187,4	1,8
88,3	176,7	2
74,5	164,0	2,2
62,4	149,6	2,4
51,5	134,0	2,6
41,8	117,2	2,8
33,1	99,4	3
25,2	80,8	3,2
18,1	61,4	3,4
11,5	41,5	3,6
5,5	21,0	3,8
0,0	0,0	4

Оценивая одиночное двигательное действие гребущей конечности пловца как единый законченный процесс, показанный на рисунке 2, следует также отметить, что максимальное значение КПД мышечных сокращений при выполнении гребковых движений на суше и в воде проявляется на скоростях, близких  $1/3$  от  $V_0$ гребка.

Возвращаясь к данному ранее определению, что произведение силы на скорость есть **мощность выполняемого движения**, через процесс математического интегрирования определим среднее значение совокупности таких мощностей на соответствующих скоростях, изменяющихся от **нулевого значения** до максимального [8]. В случае имитации основной фазы гребка на суше ненагруженная гребущая конечность пловца может развить максимальную скорость движения, равную 4,0 м/с. Указанная величина максимальной скорости имеет относительно условный характер, определяемый удобством анализа и расчетов. Реальную скорость движения гребущей конечности пловца в любой

фазе гребка с достаточной точностью можно определить с помощью существующих инструментальных приемов.

Среднее значение совокупности таких мощностей на соответствующих скоростях, изменяющихся от нулевого до максимального значения, равного  $V_0$  гребка:

$$\text{ССВ гребущей конечности} = \int_0^{V_0 \text{ гребка}} f(V) dv, \quad (3)$$

где ССВ гребущей конечности – величина, характеризующая скоростно-силовые возможности;  $f(V)$  – функциональная зависимость «сила–скорость», выраженная относительно силы гребка в уравнении (2).

Для нахождения площади фигуры  $OAB0$ , ограниченной осями координат и кривой 2 графика на рисунке 1, и соответственно, среднего значения совокупности мощностей за данный промежуток скоростей интегрируем это выражение пределах от 0 до  $V_0$  гребка = 4,0 м/с.

$$\text{ССВ гребущей конечности} = [5AB \ln(A+V) - BV] \Big|_0^{V_0 \text{ гребка}},$$

или при  $V_0$  гребка = 4,0 м/с,

$$\text{ССВ гребущей конечности} = 5AB \ln(A+4,0) - 4,0B \Big|_0^{4,0}. \quad (4)$$

Это означает, что усредненная совокупность мощностей гребущих конечностей пловца при имитации гребкового движения на суше с различными скоростями в полной мере определяет скоростно-силовые возможности пловца. Полученная величина имеет размерность мощности и выражается в (н·м)/с.

Для определения ССВ необходимо только зафиксировать изометрическое усилие в начале основной фазы гребкового усилия (Н), оценить скорость ненагруженной конечности при имитации гребкового движения в той же фазе (м/с), а затем произвести необходимые расчеты.

Так, например, в брассе при имитации гребкового движения на суше в основной фазе гребка было зафиксировано в изометрическом режиме мышечных сокращений усилие в 57,5 кг или 564 Н [4]. Скорость выполнения этой же фазы движения ненагруженными мышцами составляла около 4,3 м/с. Из уравнения (4) определяем, что скоростно-силовые возможности пловца с такими показателями выражаются в 608 (н·м)/с.

Кроме этого необходимо учесть, что максимальную мгновенную мощность мышцы гребущих конечностей развивают на скорости, равной 1/3 от максимальной скорости сокращения ненагруженных мышц, участвующих в гребковых движениях (кривая 1 на рисунке 2). В практическом использовании интерес заключается в том, что имея данные

о  $V_0$  гребка, с помощью несложного математического преобразования можно точно определять максимум функции, описывающей мгновенную мощность мышц гребущих конечностей. Это совместно с информацией о скоростно-силовых возможностях гребущих конечностей дает более полную картину о специальной силовой подготовленности пловца-спринтера на суше, выраженную через КПД его мышечной системы, а в дальнейшем возможность определять эффективность реализации скоростно-силовых возможностей своих гребущих конечностей в условиях реального плавания.

Таким образом, выбор и использование (невекторной) скалярной величины, соизмеримой с мощностью, позволяет более корректно фиксировать силовые проявления гребущих конечностей пловца и оценивать его скоростно-силовые возможности при имитации гребковых движений на суше, а также мгновенную мощность, развиваемую мышечной системой в этих движениях.

Следующим, наиболее важным этапом теоретического анализа и экспериментального исследования является поиск закономерностей реализации мощности, приобретенной в тренировках на суше, в условиях реального плавания.

### ЛИТЕРАТУРА

- Хилл, А. Механика мышечного сокращения: старые и новые опыты: пер. с англ. / А. Хилл. – М.: Мир, 1972. – 183 с.
- Вайцеховский, С.М. Силовая подготовка пловца в воде / С.М. Вайцеховский // Плавание. – М.: ФИС, 1982. – Вып. 2. – С. 13–21.
- Платонов, В.Н. Тренировка пловцов высокого класса / В.Н. Платонов, С.М. Вайцеховский. – М.: Физкультура и спорт, 1985. – 256 с.
- Иванченко, Е.И. Теоретико-методические основы становления высшего спортивного мастерства пловцов: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Е.И. Иванченко. – Минск, 1991. – 318 с.
- Манцевич, Д.Е. Индивидуализация многолетнего планирования силовой подготовки пловцов: автореф. дис. ... канд. пед. наук / Д.Е. Манцевич. – Киев, 1987. – 25 с.
- Прилуцкий, П.М. Изменение мощности выполнения тренировочных упражнений пловцами спринтерами в соревновательном периоде / П.М. Прилуцкий // Вопросы теории и практики физической культуры и спорта. – Минск: Полымя, 1991. – Вып. 21. – С. 74–76.
- Гринченко, А.А. Тензометрическое определение силы тяги и скоростной выносливости пловца / А.А. Гринченко, В.П. Зубанов, С.И. Петухов // Электроника и спорт: тез. Всес. науч.-тех. конф. – Тула, 1983. – С. 43.
- Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И.Н. Бронштейн, К.А. Семеняев – Изд. 7-е, стер. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 608 с.

22.01.2014