

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ СКОРОСТНО-СИЛОВЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ПЛОВЦОВ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

**Попов В.П.**

канд. пед. наук, доцент,  
Заслуженный тренер  
Республики Беларусь,  
Белорусский  
государственный  
университет  
физической культуры

**Зайцев И.Ф.**

Белорусский  
национальный  
технический  
университет

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

**Ключевые слова:** плавание; мощность; скоростно-силовые способности.

## THEORETICAL ANALYSIS OF SPEED-POWER ABILITIES MANIFESTATION IN SWIMMERS IN THE CONTEXT OF DEVELOPED POWER

Sports swimming constantly attracts the attention of sports specialists due to the great number of medals won at the Olympic Games, as well as due to many unresolved problems. The article is devoted to the study of the regularities of speed-power abilities realization in swimmers. In this paper, an attempt has been made to evaluate speed-power potentials on the basis of the Hill equation, and express them in terms commensurate with mechanical power.

**Keywords:** swimming; power; speed-power abilities.

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

Исследуя механизмы достижения высоких скоростей перемещений 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 [2–7]. Если главной 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, что позволит принять соответствующее управляющее решение.

Однако не все так просто. Специфика среды, в которой движется тело пловца и выполняются 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. Затем их сопоставляли с тяговыми усилиями в плавании на привязи, в неподвижном слое воды, с использованием жесткой, не стандартизированной «тяги» в виде троса, шнура, резинового амортизатора. В результате вычисляли так называемый коэффициент 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, ошибочно увязывающего воедино зависимые, статические напряжения мышц на сухе 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 жидкости, не имеющей формы среды, в безопорном положении относительно общего центра массы тела пловца, что требует от пловца значительного уровня специфических двигательных способностей. Заметим, что сила – 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), когда определяется соотношение полезной и потребляемых мощностей, являющихся в своей сути не векторными величинами.

Для спринтерского плавания это наиболее интересно тем, что появляется возможность сопоставить запас мощности, приобретенный в процессе специальной физической подготовки на сухе, с мощностью, проявляемой в гребковых движениях в воде на разных скоростях. Следует отметить, что именно показатель интенсивности двигательной деятельности спортсмена, выраженный через мощность, наиболее качественно отражает его скоростно-силовые возможности [9]. То же относится и к отдельным биокинематическим звеньям, обеспечивающим специфические двигательные действия, например, гребущие конечности пловца.

Зная, какой мощностью обладают гребущие конечности пловца на сухе, и какую мощность пловец может развить, перемещая свое тело в потоке воды с соответствующей скоростью, легко определить его коэффициент полезного действия. 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.

Определить скоростно-силовые возможности (мощность) 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, выглядит так:

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

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 в этом случае способность мышц к работе скоростно-силового характера выражается уже через величину, сопоставимую 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 мощность конкретной группы мышц, участвующей в двигательном действии и работающей в преодолевающем режиме.

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

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

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

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

Таким образом, применительно к гребущей конечности пловца закон Хилла определится так:

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

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

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

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

Скорость движения гребущей конечности при имитации гребкового движения на сухе по траек-

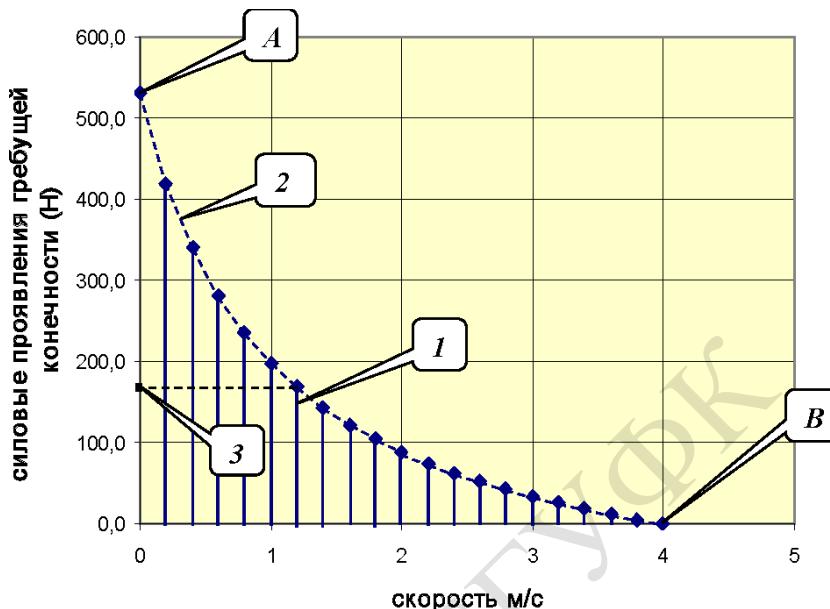
тории основной фазы гребка в некотором усредненном значении может изменяться от своего нулевого значения (изометрический режим сокращения мышц) до максимального. С учетом этого и с целью построения кривой, отражающей закон Хилла, нами произвольно выбрано 21 значение скоростей движения гребущей конечности с шагом по 0,20 м/с (таблица).

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

$F_{\text{гребка}} (\text{Н})$	$B = F_0 / 4$	$A = V_0 / 4$
530	132,5	1,0
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

Указанные значения, в своей сути – это 21 двигательное действие, имитирующее основную фазу гребка на различных его скоростях, начиная от нулевой до максимальной, равной 4,0 м/с. 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

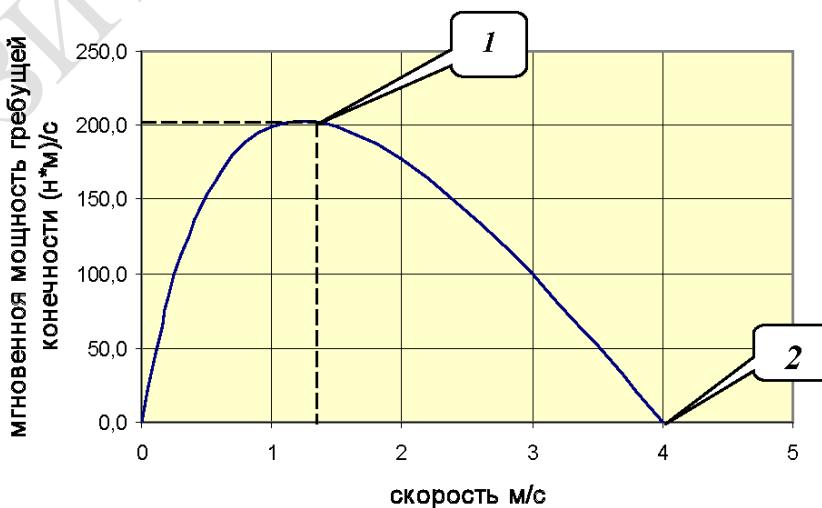
мощностью имитационного гребкового движения. Результаты вычислений расчетов приведены в таблице.



*A* – точка пересечения линии 2 с вертикальной осью графика, показывающая  $F_{0\text{гребка}}$ ; *B* – точка пересечения линии 2 с горизонтальной осью графика, показывающая  $V_{0\text{гребка}}$ ; 1 – одно из 21 значения максимальной скорости движения гребущей конечности пловца с шагом между каждым значением в 0,2 м/с ( $V_{\text{гребка}}$ ); 2 – линия, проходящая через максимумы амплитуд скоростных отсчетов 1 (закон Хилла для гребущей конечности пловца); 3 – силовое проявление гребущей конечности пловца ( $F_{\text{гребка}}$ ) на соответствующем значении скорости гребка ( $V_{\text{гребка}}$ )

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

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.



1 – максимальное значение КПД мышечных сокращений при имитации гребковых движений на сушке; 2 – максимальная скорость движения ненагруженной гребущей конечности, равная  $V_{0\text{гребка}}$

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

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  $V_{0\text{гребка}}$ .

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 значения [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 относительный 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 значения до максимального значения, равного  $V_{0\text{гребка}}$ :

$$P_{\text{гребущей конечности}} = \int_0^{V_{0\text{гребка}}} f(V) dV, \quad (3)$$

где **P (мощность) – величина, характеризующая скоростно-силовые способности;**

$f(V)$  – функциональная зависимость «сила – скорость», выраженная относительно силы гребка в уравнении (2).

Для нахождения площади фигуры 0AB0, ограниченной осями координат и кривой 2 графика на рисунке 1, и соответственно, среднего значения совокупности мощностей за данный промежуток скоростей, интегрируем это выражение в пределах от 0 до  $V_{0\text{гребка}} = 4,0$  м/с:

$$P_{\text{гребущей конечности}} = [5AB\ln(A + V) - BV] \Big|_0^{V_{0\text{гребка}}}$$

или при  $V_{0\text{гребка}} = 4,0$  м/с,

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

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 мощности необходимо только зафиксировать изометрическое усилие в начале основной фазы гребкового усилия в ньютонах, оценить скорость ненагруженной конечности при имитации гребкового движения в той же фазе в метрах в секунду, 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]. Ско-

рость выполнения этой же фазы движения ненагруженными мышцами составляла около 4,3 м/с. Из уравнения (4) определяем, что мощность пловца с такими показателями равна 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 рисунка 2). В практическом использовании интерес заключается в том, что, имея данные о  $V_{0\text{гребка}}$ , с помощью несложного математического преобразования можно точно определять максимум функции, описывающей мгновенную мощность мышц гребущих конечностей. Совместно с информацией о скоростно-силовых возможностях гребущих конечностей, это дает более полную картину о специальной силовой подготовленности пловца-спринтера на суше, выраженную через КПД его мышечной системы. В дальнейшем возможно определить эффективность реализации мощности гребущих конечностей в условиях реального плавания.

Таким образом, выбор и использование (невекторменной) скалярной величины (мощности) позволяет более корректно оценить потенциал гребущих конечностей пловца при имитации гребковых движений на суше, а также и 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. : Физкультура и спорт, 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. Всесоюз. науч-техн. конф. – Тула, 1983. – С. 43.
- Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семенджев. – 7-е изд., стер. – М. : Гос. изд-во технико-теор. литературы, 1957. – 608 с.
- Попов, В. П. Метрология мощности человека / В. П. Попов, И. Ф. Зайцев // Мир спорта. – 2018. – № 1. – С. 25–29.

25.09.2020