

УДК 37.037

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАРТОВОГО ПРЫЖКА В ПЛАВАНИИ
ВОЛЬНЫМ СТИЛЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА КАВИТАЦИИ***Р. С. Жуков, Д. М. Дмитриев, А. Н. Волков*

Плавание – один из наиболее массовых и популярных видов спорта, он включает шесть дисциплин – плавание вольным стилем, брассом, на спине, баттерфляем, комплексное плавание, эстафеты. Плавание является вторым после легкой атлетики видом спорта по количеству разыгрываемых медалей на Олимпийских играх.

Подготовка пловцов высокого класса, способных устанавливать мировые рекорды, добиваться побед в крупнейших соревнованиях, ведется во многих странах мира. Только в течение последнего десятилетия чемпионами Игр Олимпиад и мира становились пловцы из США, Австралии, России, Германии, Китая, Украины, Венгрии, Ирландии, ЮАР, Финляндии, Канады, Испании, Японии, Новой Зеландии, Бельгии, Коста-Рики, Польши, Швеции, Нидерландов, Франции [3,10].

Наиболее существенное дополнение к программе соревнований по плаванию последних лет – «сверхкороткий» спринт («суперспринт»). Он существенно повысил зрелищность состязаний пловцов, расширил круг болельщиков, в том числе и телевизионных. Дистанция 50 метров собирает наиболее атлетичных спортсменов. Для нее характерна острейшая, подчас драматичная борьба. Малейшая оплошность на старте или на финише исключает возможность успеха: пловцов на финише разделяют, как правило, тысячные доли секунды. Какова же их цена? Вспомним финальный заплыв на Играх Олимпиады 1996 года в Атланте. На трибуне – Президент США Билл Клинтон, он лично собирается вручить миллион долларов американскому спортсмену, если тот победит на этой самой престижной сверхкороткой дистанции. Золотую же медаль выигрывает российский пловец Александр Попов [2].

Уже одного этого факта достаточно, чтобы убедиться, сколь высока конкуренция и сколь эффективной должна быть методика подготовки пловцов-спринтеров, которая позволила бы им включиться в борьбу за мировые рекорды, победы в Играх Олимпиад, чемпионатах мира и Европы. С каждым годом эффективность подготовки пловцов все в большей мере определяется уровнем знаний тренеров, владением ими тонкостями технического, тактического, функционального и психологического совершенствования спортсменов.

Старт пловца является предметом пристального внимания отечественных и зарубежных специалистов на протяжении многих лет, и это не случайно. В настоящее время на международной арене значительно возросла конкуренция, иногда победителя от преследователей разделяют сотые доли секунды. Тогда как хорошо выполненный старт может принести пловцу уже в начале дистанции выигрыш до

0,5 с, что в условиях острой конкуренции может сыграть решающую роль в достижении победы [1, 10].

Как показывает анализ научно-методической литературы, стартовая подготовка остается одной из актуальных проблем современного спортивного плавания.

Во-первых, в тренировочном процессе пловца зачастую используется недостаточно эффективных средств, способствующих совершенствованию стартового прыжка.

Во-вторых, большие объемы и интенсивность тренировочного процесса (на всех этапах и периодах подготовки) не оставляют места для акцентированной стартовой подготовки пловцов.

В-третьих, отсутствие должного внимания стартовым движениям приводит к тому, что на тренировочных занятиях спортсмены проплывают даже соревновательную дистанцию не со старта, а оттолкнувшись от бортика бассейна.

Сегодня по технике старта спортсмены и тренеры не имеют экспериментально обоснованных модельных характеристик всех фаз и элементов техники старта. Нет данных о пространственных, временных, силовых и других параметрах старта пловцов различной спортивной квалификации. Все это приводит к тому, что уже в начальном периоде обучения процесс овладения техникой старта проходит без конкретных рекомендаций и указаний со стороны тренера. Разработка экспериментально обоснованной системы модельных характеристик, предназначенных для обучения и совершенствования техники старта, является крайне необходимой задачей.

В структуре стартового прыжка имеют место элементы, фазы, движения, которые требуют расширения арсенала различных прыжковых упражнений, уточнений и экспериментального обоснования новых, так называемых нетрадиционных, средств и методов спортивной тренировки, определяющих двигательный эффект всего комплекса стартового прыжка. Однако именно такого подхода при обучении старту в практике зачастую не наблюдается [3, 9, 10]. Таким образом, предпринятая попытка исследования возможности снижения потерь скорости в подводной части старта и внедрение результатов в тренировочный процесс представляется весьма актуальной.

В связи с этим цель нашего исследования – теоретическое и экспериментальное обоснование эффективности использования эффекта кавитации при выполнении старта пловцов-спринтеров на современном этапе развития спортивного плавания.

Задачи исследования:

1) изучить научно-методическую литературу по исследованию эффекта кавитации при старте пловцов-спринтеров;

2) экспериментально оценить эффективность применения «горизонтального» старта. Определить глубину выполнения подводной части старта, при которой эффект кавитации максимальный.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы исследования: анализ и обобщение данных научно-методической литературы, педагогический эксперимент, педагогические контрольные испытания (тестирования), педагогические наблюдения, хронометрия, подводная видеосъемка, методы математической статистики.

Анализ специальной литературы по гидродинамике показывает, что движущееся в водной среде тело испытывает сопротивление трения, формы и волновое сопротивление. Известны следующие методы снижения сопротивления трения: замена при данном числе Рейнольдса (Re) турбулентного течения в пограничном слое ламинарным (ламинаризация потока), для которого характерно меньшее сопротивление трения, изменение физических свойств жидкости и поверхности обтекаемого тела; уменьшение смоченных поверхностей [6]. Физический смысл числа Re заключается в том, что числитель представляет собой интенсивность движения всего объема жидкости, а знаменатель – темп теплового движения. При равенстве скоростей наблюдается ламинарное движение жидкости, а при превышении местных скоростей над переносной жидкость двигается турбулентным режимом [5].

Обратный эффект к турбулентности называется кавитация. При кавитации в толще жидкости появляются пустоты. Это поток, который ещё «ламинарнее» ламинарного потока. Существует три режима движения жидкости: турбулентный, ламинарный и режим кавитации. Качественное различие между режимами заключается в отношении скорости движения молекул жидкости к скорости движения всего объема жидкости. При равенстве этих скоростей – ламинарный режим движения жидкости. При скорости движения молекул большей скорости движения объема жидкости – турбулентный режим. При скорости молекул меньшей, чем скорость движения всего объема, жидкости приходится разрывать молекулярные связи, образуются внутриводные полости-разрывы, это и есть т. н. кавитационный режим движения жидкости [7].

Уменьшение смоченной поверхности обтекаемого тела может достигаться благодаря формированию на его поверхности воздушной каверны (полости), или кавитационных пузырьков. Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже некоторого критического значения, и плотность ее потока нарушается. Гидродинамическая кавитация возникает в местах понижения давления вследствие больших местных скоростей в потоке движущейся жидкости [8].

В области расположения каверны удается почти полностью устранить сопротивление трения. Этот принцип был положен в основу при разработке современных высокоскоростных торпед типа ракеты «Шквал», основа технологии которой основывается на использовании так называемой суперкавитации, когда движущийся предмет окружается облаком пузырьков, которые минимизируют площадь соприкосновения с водой и снижают трение [6].

В чистых жидкостях связь между молекулами является настолько прочной, что для ее разрыва, согласно теоретическим данным, необходимо было бы прикладывать растягивающие напряжения порядка нескольких тысяч килограммов на квадратный сантиметр. В реальных условиях для разрыва сплошности жидкости не нужно создавать больших растягивающих напряжений. В большинстве практически важных случаев разрыв часто возникает даже при положительных значениях давления в жидкости, близких к значениям ее насыщенных паров.

Основная причина большого снижения прочности – наличие в жидкости нерастворенных газов. Газовые включения при рассмотрении кавитационных процессов называют ядрами кавитации. Ядра в потоке кавитационных и гидродинамических труб могут быть значительно больших размеров вследствие роста мелких пузырьков за счет диффузии газа из окружающей жидкости. Хотя диффузия происходит медленно, пузырьки могут достигать значительных размеров, так как многократно проходят по замкнутому циклу через зону пониженного давления рабочих участков экспериментальных установок. За счет диффузии могут вырасти до больших размеров также пузырьки, продолжительное время находящиеся в зоне пониженного давления вблизи корпуса судна.

Для объяснения существования устойчивых ядер в виде свободных пузырьков газа, находящихся в жидкости, вводят гипотезы. Известно, что достаточно крупные пузырьки должны всплывать, а мелкие, участвующие в броуновском движении, вследствие больших сил поверхностного натяжения – растворяются. Чтобы выйти из этого затруднения, допускают существование оболочек из органических веществ, ослабляющих поверхностное натяжение на границе пузырька и препятствующих диффузии газа из пузырька в окружающую жидкость.

Наиболее аргументированной представляется гипотеза, высказанная Е. Н. Гарвеем и др., согласно которой включения нерастворенного газа концентрируются вблизи гидрофобных (не смачиваемых) поверхностей микротрещин твердых тел, а также микроскопического размера частиц, находящихся в жидкости во взвешенном состоянии. На рис. 1 схематически показано сечение микропоры и поверхности раздела между газом и жидкостью. Вследствие того, что граница раздела выпуклостью обращена в сторону газовой полости, силы поверхностного натяжения направлены внутрь жидкости. Это приводит к снижению давления газа внутри полости по сравнению с давлением в жидкости и препятствует диф-

фузии газа из полости внутрь жидкости, способствуя стабилизации ядра кавитации [4].

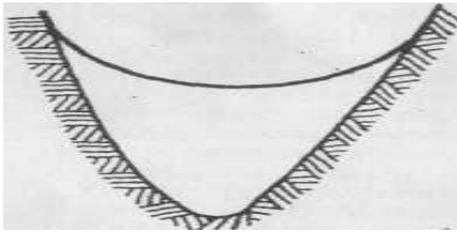


Рис. 1. Сечение микропоры

При быстром и большом по величине понижении давления устойчивое равновесие пузырька может нарушиться, и тогда он будет расширяться очень быстро, взрывоподобно, достигая максимальной величины. Так как диффузия происходит медленно, лишь небольшое количество газа из окружающей жидкости попадает внутрь пузырька, поэтому каверна, достигшая максимального размера, заполнена в основном паром жидкости.

Характер развития кавитации существенным образом зависит не только от наличия ядер кавитации, но и от картины распределения давлений и скоростей в потоке, обтекающем тело. Первые вспышки кавитации, под которыми подразумевается рост ядер до видимых невооруженным глазом размеров, наблюдаются, как правило, в тех областях потока, где давление минимально. Эти области находятся на поверхности тела или внутри потока в ядрах вихрей. Последние появляются при отрыве пограничного слоя от острых кромок и в местах больших положительных градиентов давления на теле. Одним из наиболее характерных примеров таких вихрей являются вихри так называемой дорожки Кармана, которые отчетливо наблюдаются при обтекании цилиндра в направлении, перпендикулярном его оси. Вихри формируются за миделем цилиндра и относятся вниз по потоку [4].

Ряд исследований по применению искусственной каверны на днище транспортных судов также показали, что применение данного технического решения обеспечивает снижение сопротивления воды движению корпуса не менее чем на 18 % [6].

Проведенный анализ выполнения подводной части старта сильнейшими спортсменами, в том числе и на Чемпионате мира 2007 г. в Мельбурне, показал, что в момент входа рук в воду за кистью образуется большое количество пузырьков воздуха, которые обволакивают остальные части тела. Таким образом, эффект кавитации позволяет пловцу проскальзывать на воздушной подушке, снижая тем самым потери скорости в подводной части старта [6].

Влияние кавитационного эффекта оценивалось по скорости продвижения пловца в подводной части стартового прыжка и визуальной оценки отснятых кадров, включая и объем кавитационных пузырей.

Глубина погружения оценивалась по закрепленным меткам ко дну бассейна в виде воздушных шариков небольшого диаметра. Шарик устанавли-

вались на глубине 40, 60 и 80 см от поверхности воды.

Исследования проводились на базе плавательного бассейна ГУСК «Лазурный» г. Кемерово. В эксперименте участвовало 7 пловцов-спринтеров со спортивной квалификацией кандидат в мастера спорта. Все спортсмены-пловцы выполняли четыре попытки в каждом из двух вариантов стартового прыжка. Первый вариант – старт с куполообразной подводной траекторией (глубина погружения 80 – 100 см). Второй вариант – старт с горизонтальной подводной траекторией (глубина погружения 40 – 60 см). Учитывалась и анализировалась лучшая попытка. Фиксировалось время от момента погружения головы пловца в воду до пересечения ногами пловца линии, находящейся на расстоянии 7,5 м от борта бассейна (время скольжения). Схематичное изображение траекторий различных вариантов старта показано на рис. 2, 3. Результаты тестирований представлены в табл. 1.

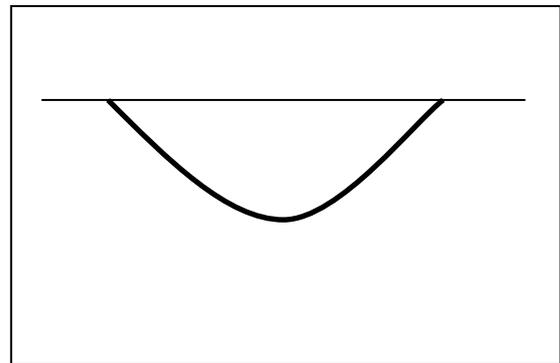


Рис. 2. Траектория старта пловца с куполообразной подводной траекторией скольжения

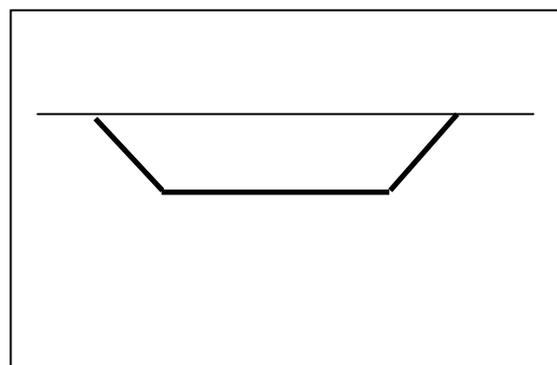


Рис. 3. Траектория старта пловца с плоской подводной траекторией скольжения

Анализируя результаты оценки времени прохождения подводной части старта пловца с различными траекториями движения, мы зафиксировали достоверные отличия между средними арифметическими значениями ($p < 0,001$). Таким образом, можно утверждать, что сокращение времени выполнения подводной части старта обусловлено кавитационным эффектом (вариант II) (табл. 1, рис. 4).

Результаты тестирований показывают, что старт с горизонтальной траекторией в подводной части позволяет пловцу выполнить подводную часть старта на более высокой скорости, чем при куполообразной траектории.

Проведение подводной видеосъемки соответствовало всем биомеханическим требованиям для получения информации о технике выполнения стартовых прыжков. Анализ подводной части старта показал, что, если старт выполняется глубоким, с куполообразной подводной траекторией, то кавитационный эффект используется минимально, образующиеся пузырьки воздуха поднимаются к поверхности и в меньшей степени обволакивают переднюю поверхность тела спортсмена. При выполнении старта с переводом подводной траектории в горизонтальную, кавитационный эффект используется в большей степени, пловец проскальзывает на воздушной подушке, что позволяет пловцу выполнить подводную часть старта на более высокой скорости (рис. 5 – 8).

Таблица 1

**Сравнительный анализ времени (с)
проплывания в подводной части старта
с использованием куполообразной подводной
траектории (вариант I)
и горизонтальной траектории (вариант II)**

№ пловца	Вариант I	Вариант II	Δd	Δd^2
1	2,86	2,60	0,26	0,068
2	2,83	2,58	0,23	0,053
3	2,80	2,54	0,26	0,068
4	2,87	2,63	0,25	0,063
5	2,85	2,60	0,22	0,048
6	2,84	2,60	0,24	0,058
7	2,89	2,64	0,25	0,063
X	2,85	2,60	0,24	0,06
δ	0,03	0,03	0,02	0,01
р ₀	<0,001			

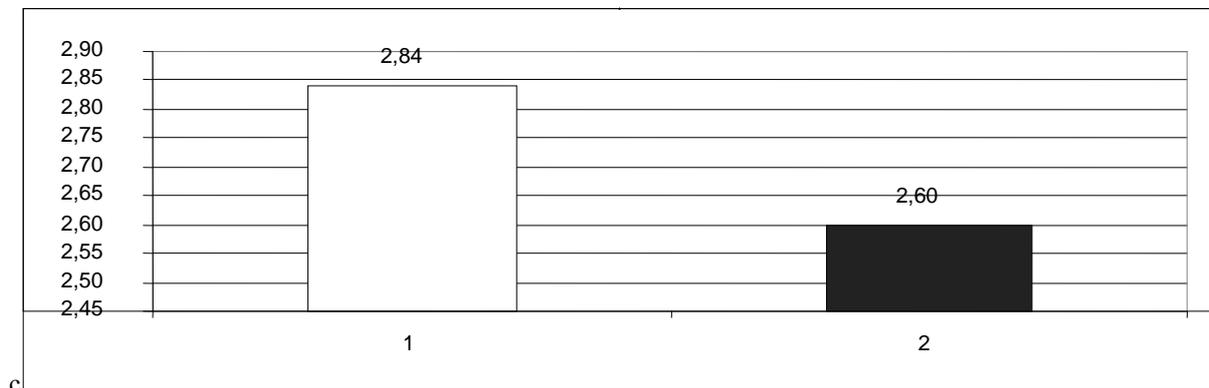


Рис. 4. Время выполнения подводной части старта при варианте №1 (куполообразный старт) и варианте №2 (горизонтальный старт)

Как показал анализ научно-методической литературы, технические элементы при различных способах стартовых прыжков представлены в работах известных авторов с должным биомеханическим обоснованием. Но на сегодняшний день остается нерешенной проблема анализа новых эффективных элементов техники выполнения старта пловцов-спринтеров. Например, старта, основанного на использовании эффекта «мелкой воды». Использование подводной видеосъемки позволило определить временные и пространственные характеристики подводной части старта.

Таким образом, сравнение техники старта с переводом подводной траектории в куполообразную и горизонтальную показало, что кавитационный эффект используется более полно при «горизонтальном» старте. Экспериментально определены глубины выполнения старта, при котором кавитационный эффект максимален, данная глубина – 40 – 60 см. Экспериментально доказана эффективность «горизонтального» старта. Обозначенные положения хорошо согласуются с рекомендациями заслуженного тренера России Г. Г. Турецкого по повышению эф-

фективности выполнения старта, основанном на использовании эффекта «мелкой воды».

Среди упражнений, способствующих освоению наиболее эффективной траектории подводной части старта, можно рекомендовать пловцам выполнение старта с борта бассейна из исходного положения «с колена» (одна нога согнута в колене под углом 90^0 , пальцы ноги на переднем крае борта, другая в упоре на колено). Глубина погружения должна поддерживаться на уровне 40-60 см, при этом необходимо обращать внимание на удачно выполненные старты и запоминание ощущений при подводном скольжении. При обучении старту бывает довольно сложно оценить глубину погружения и спортсмену, и тренеру. Для этих целей использовать воздушные шарики, закрепленные леской к грузу на дне бассейна. При отработке старта и в случае касания телом шариков, спортсмен, посредством обратной связи, корректирует глубину погружения.



Рис. 5. Вход в воду (старт с горизонтальной подводной траекторией), глубина 40-60 см (эффект кавитации максимальный)



Рис. 8. Скольжение (старт с куполообразной подводной траекторией), глубина 80-100 см

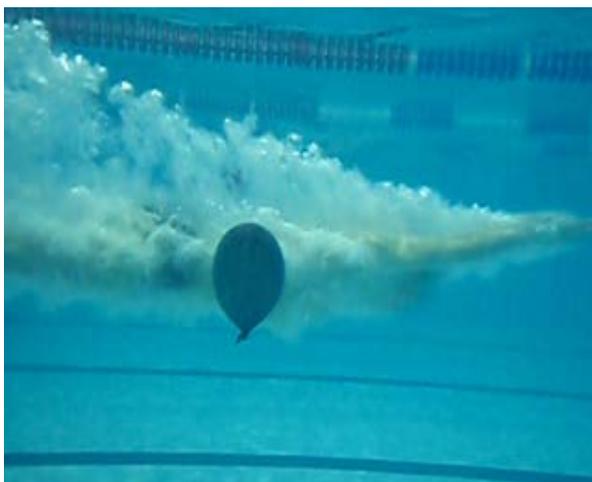


Рис. 6. Скольжение (старт с горизонтальной подводной траекторией), глубина 40-60 см (эффект кавитации максимальный)



Рис. 7. Вход в воду (старт с куполообразной подводной траекторией), глубина 80-100 см

Литература

1. Булгакова, Н. Ж. Биомеханический анализ стартового прыжка в плавании / Н. Ж. Булгакова, В. М. Зациорский, Н. Н. Чаплинский, А. А. Дианов // Теория и практика физической культуры. – 1979. – № 4. – С. 12 – 16.
2. Викулов, А. Д. Спортивное плавание сегодня / А. Д. Викулов // Ярославский педагогический вестник. – 2001.
3. Викулов, А. Д. Плавание: учебное пособие для студентов высшего учебного заведения / А. Д. Викулов. – М.: Владос-пресс, 2004. – 367 с.
4. Иванов, А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений / А. Н. Иванов. – Л.: Судостроение, 1980. – 324 с.
5. Кондратьев, А. Н. Три режима движения жидкости – ламинарный, турбулентный и кавитация / А. Н. Кондратьев: II-я Международная научная конференция студентов «Актуальные проблемы современной науки». – 2001.
6. Петряев, А. В. Использование эффекта кавитации при выполнении старта в плавании / А. В. Петряев // Плавание: исследование, тренировка, гидро-реабилитация. – СПб.: Плавин, – 2007. – С. 32 – 35.
7. Проблемы турбулентности: сб. статей. – М.; Л.: ОНТИ, 1976. – 332 с.
8. Рождественский, В. В. Кавитация / В. В. Рождественский. – Л.: Судостроение, 1977. – 248 с.
9. Хальянд, Р. Д. Модели выполнения стартов и поворотов / Р. Д. Хальянд // Теория и практика физической культуры. – 1988. – № 4. – С. 12 – 16.
10. Юхно, Ю. А. Биомеханический анализ техники выполнения стартовых движений высококвалифицированными спортсменами в плавании. Национальный университет физ. воспитания и спорта Украины / Ю. А. Юхно // Эл. ресурс. – Режим доступа: <http://sportedu.ru/books/XXPI/2006n5/p6065.htm>.