

Всероссийский конкурс научно-технологических проектов
«Большие вызовы»

Исследование движителя «Хвостовой плавник рыбы»

Выполнил:

Сенецкий Андрей Вячеславович
г.Мурманск, муниципальное бюджетное
общеобразовательное учреждение
«Мурманский академический лицей», 11 класс

Научные руководители:

Бережнов Сергей Геннадьевич,
учитель технологии,
Урсуляк Евгений Олегович,
учитель технологии,
МБОУ «Мурманский академический лицей»

Введение

Поведение живых существ в природе является ключом к созданию новых технических средств, использующих механизмы, выработанные живыми существами в ходе эволюционного отбора. Например, лосось на пути к месту нерестилища способен преодолевать водопады значительной высоты, выбрав у основания водопада или порога какой-нибудь камень в качестве точки опоры, упершись в него хвостом, с силой ударяет по воде, выпрыгивая на высоту 2–3 м и описывая в воздухе 4–6-метровую дугу. Можно заметить, что при таком прыжке хвост лосося будет потреблять в среднем 80 Вт [1,2] в то же время техническое средство, совершающие подобные действия, будет потреблять мощность, измеряемую в КВт, что для лосося физически недостижимо. Учёные до сих пор ломают голову над вопросом: как некоторые рыбы способны двигаться в воде, которая является плотной средой, со скоростями, сравнимыми со скоростью легкового автомобиля? Например, Рыба-парусник способна развивать скорость до 109 км/ч, а Рыба-меч – до 97 км/ч. Скорость меч-рыбы при нападении достигает 140 км/ч. она, не пострадав, может пробить обшивку судна [3].

Когда рыба плывёт в воде с такой большой скоростью, то она испытывает огромное лобовое сопротивление (4'000 Н). Учёные выяснили, что для того, чтобы рыбе плыть в таких условиях, её хвостовым мышцам нужно затрачивать мощность автомобильного мотора (100 лошадиных сил или 73,55кВт). Рыбы дышат кислородом, который они извлекают из воды жабрами и который содержится в относительно малом количестве. Энергии, получаемой за счёт окислительных процессов в процессе дыхания, будет явно недостаточно для того, чтобы затрачивать такую огромную мощность. Тогда учёные сошлись на мнении, что рыба каким-то образом способна в крайне большой степени снижать лобовое сопротивление [4]. Рыба парусник эффективно использует турбулентность, то есть вода обтекает тело не послойно, как при ламинарном движении, а образуя быстрые завихрения, которые помогают рыбе снижать сопротивление воды при плавании.

По моему предположению, помимо особенностей обтекаемой формы и особенностей тела рыбы, главную роль в её быстром движении играет хвостовой плавник, имеющий особую конфигурацию и упругие свойства. Появилась идея о создании движителя, работающего по принципу, который используют «сверхскоростные рыбы», плавающие с высокими скоростями. Этот волновой движитель будет состоять из пластины, имеющей особую форму, длину, высоту и материал, приводящийся в движение двигателем, совершающим циклические колебания влево и вправо с определённой частотой вокруг вертикальной оси.

Надо отметить, что такой движитель будет более эффективен, чем гребной винт, он будет потреблять меньше топлива. Если КПД лодочного электромотора может достигать до 50% [5], то КПД движителя «Хвостовой плавник рыбы» будет в районе 90. Данный движитель может быть использован на подводных батискафах, изучающих подводное дно, а также на исследовательских судах, изучающих океан.

Движитель «Хвостовой плавник рыбы» будет бережно относиться к флоре и фауне водоёма, в котором используется. Это связано с тем, что колебательные движение не способны причинить особый вред растущим водорослям и рыбам. У него будет высокая проходимость, он не будет требовать очистки от водорослей в отличие от гребного винта. Движитель может быть использован на мелководье, поскольку он сможет пройти ту глубину, где находится нижняя грань движителя, которая может быть выше, чем та глубина, на которую обычно устанавливают гребной винт, что позволит судну, очень близко подходить к берегу. По физической особенности своего действия такой движитель будет работать бесшумно, в отличие от гребного винта, по причине отсутствия коветационных пузырьков, которые не будут возникать у волнового движителя, за счет его плавного движения. Это будет способствовать продлению срока службы.

Для того, чтобы можно было разработать прототип такого движителя, мною совместно с научным руководителем была создана экспериментальная

установка, с помощью которой было проведено исследование, направленное на понимание того какой вклад вносит в быстрое передвижение рыбы хвостовой плавник, а также на определение его параметров.

Таким образом, можно обозначить проблему работы. В подводном мире обитают рыбы, способные перемещаться в воде с большой скоростью. Целесообразно провести исследование, которое будет направлено на изучение данного явления с помощью собранной установки. Кроме этого, я опишу результаты экспериментов, позволяющие определить параметры нового движителя, обеспечивающие его наибольшую эффективность.

Целью работы является исследование движителя, сконструированного по аналогии с хвостовым плавником рыбы.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- понять, почему рыбы способны так быстро двигаться в воде;
- создать экспериментальную установку;
- определить параметры волнового движителя для последующей разработки;

Новизна работы проявляется в том, что в настоящий момент не встречается упоминаний о существовании экспериментальных установок по изучению воздействия движения механического аналога хвоста рыбы на окружающую воду.

Работа имеет практическую значимость, поскольку данный способ создавать тягу ранее никогда не использовался в кораблестроении, суда, использующие волновой движитель будут обладать новым набором возможностей, что делает исследования в данном направлении перспективными.

Основная часть

Изготовление исследовательской установки

Мной совместно с научным руководителем разработана и собрана установка (Приложение 1, рисунок 1) предназначенная для исследований параметров созданного нами волнового движителя. Она представляет собой кольцевой бассейн. В воде установлен волновой движитель, полностью погруженный в воду. Он приводит в движение воду в бассейне, скорость которой определяется с помощью плоской лопатки с иглой на конце и транспортира через определение угла отклонения.

Данная установка состоит из (Приложение 1, рисунок 2): основного корпуса бассейна; водонепроницаемой плёнки; разделительной перегородки с креплениями; гасителей поверхностных волн; стабилизатор потока; измерительной плоской лопатки с иглой для измерения угла отклонения; транспортира; электропривода с кронштейном для сменных плавников; блока питания; генератора частот; нестационарного термометра для контроля температуры воды

При работе волнового движителя на поверхности воды создаются побочные колебания, которые раскачивают измерительную стрелку и создают помехи при снятии показаний. Для их устранения используются гасители поверхностных волн.

Поток, создаваемый волновыми движителем неоднороден по скорости за счет того, что при волновом движении вода разгоняется импульсно. Так же могут создаваться побочные колебания, связанные с работой движителя, которые могут создавать дополнительные помехи. Чтобы скорость потока сделать более равномерной и сгладить колебания самой воды, возникающих вследствие работы движителя, используется стабилизатор потока.

Волновой движитель приводится в движение электроприводом (Приложение 2, рисунок 1), несущей частью которого является магнитная система, взятая из жёсткого диска компьютера. Электропривод приводится в

движение усилительной схемой (Приложение 2, рисунок 2), собранной на микросхеме TDA7056B. Она усиливает сигнал, идущий с генератора частот, питаемая блоком питания. Регулировать уровень сигнала можно с помощью блока питания и потенциометром, входящим в состав усилительной схемы. Электропривод крепится таким образом, чтобы исследуемый плавник находился внутри канала (Приложение 2, рисунок 3).

Блок питания обеспечивает функционирование движителя. Оптимальное напряжение, которое следует подавать на усилительную схему электропривода- 5V.

Генератор частот (модель FY3200S-20M) позволяет совершать колебательные движения движителю с задаваемой частотой. При изменении частоты на генераторе скорость потока меняется и каждой частоте соответствует своя скорость потока. Данный генератор способен генерировать сигнал разной частоты, и формы. В данных экспериментах используется сигнал формы «синус», так как эта форма позволит движителю колебаться равномерно.

Проведение исследований

Скорость потока может зависеть от следующих факторов: длины плавника; ширины плавника; толщины плавника; материала, из которого он изготовлен; формы плавника; частоты колебаний плавника; амплитуды колебаний плавника.

Задача эксперимента состоит в том, чтобы найти оптимальные параметры волнового движителя, при которых будет достигнута максимальная скорость. Для их определения большое количество различных экспериментов. И для того, чтобы начать понимать закономерности было принято решение зафиксировать форму в виде прямоугольной пластины и материал, из которого она изготовлена. Первая серия экспериментов проводилась при постоянной ширине 5,3 см, толщине 0,6 мм и амплитуде колебания плавника при входном напряжении 8V и изменяемой длине. Для

каждого значения длины плавника исследовалась зависимость относительной скорости потока, определяемой углом отклонения лопатки, выраженная в градусах, от частоты колебаний плавника. Для этой серии измерений были выбраны плавники следующих длин: 30 см; 25 см; 20 см; 15 см; 10 см; 5 см. Вторая серия экспериментов проводилась с теми же параметрами, но при меньшей амплитуде, при входном напряжении – 5V.

Обязательным условием в каждом эксперименте является одинаковый уровень воды в бассейне, так как от этого зависит её инертность и сила трения о стенки и дно бассейна, что приводит к помехам в измерениях. Так же обязательным условием является полная погружённость плавника в воду, так как при частичном погружении плавник использует не всю рабочую плоскость, поэтому погружённая часть колеблется с одной характеристикой, а та, что в воздухе с другой, и чем больше он будет находится над водой, тем больше будет это отличие.

Результаты экспериментов

В первых экспериментах частота менялась с шагом в 0,1Hz, чтобы более чётко определить зависимость относительной скорости потока от частоты в исследуемом диапазоне. Первый эксперимент проводился с плавником длиной 30 см. с целью прослеживания показателя относительной скорости потока на разной частоте для уточнения параметров дальнейшего хода экспериментов. Он показал, что на малых частотах скорость потока резко изменяется на некоторых промежутках, на которых, для уточнения зависимости целесообразно менять частоту с шагом в 0,01 Hz.

В первой серии экспериментов чувствительность измерительной лопатки была наибольшей, так как на ней отсутствовали утяжеляющие магниты, и измерения проводились при входном напряжении, равном 7V. В этой серии измерялась только относительная скорость потока. Первый эксперимент проводился в диапазоне исследуемых частот 1,0Hz – 7,2Hz,

результаты эксперимента представлены на рисунке. (Приложение 4, рисунок1):

После первого эксперимента было выдвинуто предположение, что скорость потока, при прохождении самого максимального значения, должна монотонно убывать, так как при дальнейшем увеличении частоты относительная скорость потока уменьшалась. Далее была проведена первая серия экспериментов по изучению зависимости при более высоких частотах, которая проходила при тех же условиях, но с расширенным диапазоном частот- до 60Hz.

В первом эксперименте серии исследовался плавник длиной 30 см, исследование проходило вначале в диапазоне 1,0 – 7,0Hz с шагом 0,1Hz, а затем в диапазоне 7,0 – 14,0Hz с шагом 0,5Hz. (Приложение 4, рисунок2):

Во втором эксперименте серии исследовался плавник длиной 23,4 см. В данном эксперименте изучение проходило более детально: диапазон 1,0 – 20,0 Hz проходил шаг 0,1 Hz, а далее диапазон 21 – 60 Hz проходил шаг 1 Hz, так как рассмотрение диапазона частот свыше 20 Hz имело ознакомительных характер (Приложение 4, рисунок 3).

Подводя итоги (Приложение 4, рисунок 1) было выяснено, что изначальное предположение о монотонном убывании относительной скорости потока после прохождения максимума была неверна, так как при прохождении максимального значения относительной скорости потока также имелись локальные экстремумы максимума и минимума. На основании анализа закономерность возникновения вершин графика зависимости было выдвинуто предположение о том, что они могут возникать в момент резонансных явлений в исследуемом плавнике, и предполагается, что на плавнике укладывается определённое количество длин волн, которые кратны друг другу по длине в каждом максимуме зависимости.

Далее была проведена вторая серия экспериментов, в которой исследовалась зависимость относительной скорости потока от частоты для каждого плавника заданной длины. Определялось какой из плавников будет

давать максимальную скорость потока, и следовательно, будет эффективен в использовании. Также исследовалась потребляемая электроприводом мощность при использовании определённого плавника. В этой серии исследовался диапазон частот 1 – 100 Hz (за исключением диапазона 1 – 60 Hz, в котором исследовался плавник длиной 30 см), проходимый с шагом 1 Hz, и предполагалось в месте локального экстремума (минимума и максимума) уменьшать шаг изменения частоты и уточнять частоту локального экстремума с более высокой точностью. Эта серия экспериментов уже нуждалась в уменьшении чувствительности лопатки (положение больших магнитов на отметке 70%), так как при малых углах относительная погрешность меньше; входное напряжение на усилитель – 8V. В этой серии исследовались плавники, имеющие длину: 30 см (Приложение 6, рисунок 1), 23,4 см (Приложение 6, рисунок 2), 16,3 см (Приложение 7, рисунок 1), 10 см (Приложение 7, рисунок 2)

После проведения второй серии экспериментов, для подтверждения полученных результатов нужно было ещё раз повторить эту серию, и все результаты должны совпасть. Но при повторении эксперимента для плавника длиной 30 см совпадение показаний не произошло. Это связано с тем, что вначале этот эксперимент проводился в ледяной воде, а потом в воде комнатной температуры. Тогда стало ясно, что температура воды влияет на измеряемые показания, поэтому все показания скорости при этом увеличились в большую сторону, то есть вязкость воды уменьшается при увеличении температуры. Таким образом, показания, измеряемые при разной температуре, сравнению не подлежат, после чего было принято решение, что в следующей серии экспериментов температура воды в бассейне будет постоянно контролироваться и иметь температуру 22°C. Однако основные тенденции серий экспериментов при разной температуре могут быть сопоставлены с некоторой долей погрешности.

Теперь сравним графики относительной скорости (Приложение 8, рисунок 1) и мощности (Приложение 8, рисунок 1). Мы видим, что и в первой,

и во второй серии экспериментов скорость потока увеличивается при уменьшении длины исследуемого плавника, и чем она меньше, тем выше будет скорость потока. Также во всех сериях экспериментов графики относительной скорости воды и мощности (2 серия) имеют общую конфигурацию, что может подтвердить предположение о том, что в момент возникновения локальных экстремумов максимума на плавнике укладывается какое-то определённое число длин волн, кратных 0,5 от общей длины волны. Далее будет проведена третья серия экспериментов, в которой будет учитываться длина волны, укладываемаяся на плавнике, при каждом измерении для того же набора плавников.

Заключение

В работе с использованием разработанной экспериментальной установки был проведен ряд экспериментов над моделью хвоста рыбы. Исследовалась скорость течения потока воды, создаваемого волновым двигателем. При этом скорость потока может зависеть от следующих факторов: длины плавника; ширины плавника; толщины плавника; материала, из которого он изготовлен; формы плавника; частоты колебаний плавника; амплитуды колебаний плавника. В разных сериях исследований фиксировались все параметры за исключением одного, от значений которого исследовалась зависимость. Было выявлено, что чем короче плавник в рамках выбранных размеров, тем большую скорость потока он создает. на основании построенных графиков серий экспериментов было выявлено, что чем короче плавник в рамках выбранных размеров, тем большую скорость потока он создает, при этом затрачивается наименьшее количество энергии. Мощность становится наименьшей, когда достигается последний локальный экстремум на графике относительной скорости, независимо от длины плавника, что может быть связано с тем, что на данной частоте вода вдоль плавника начинает течь особым образом, что приводит к уменьшению сопротивления воды. Кроме этого, в ходе выполнения экспериментов были отмечены явления,

влияющие на скорость потока, например, формирование слизи на пластине в случае стоячей воды, что повышает гладкость поверхности и увеличивает относительную скорость потока, а также на скорость влияет температурный режим.

Далее планируется провести серии экспериментов, в которых будет подтверждаться предположение о укладывающихся стоячих волнах на плавнике, но уже с другим материалом. Далее, определив искомые параметры и убедившись в их достоверности, можно будет непосредственно приступить к изготовлению движителя «Хвостовой плавник рыбы».

Список литературы

1. Особенности биологии семги//Helpiks.org/[Электронный ресурс].- Режим доступа:[https://helpiks.org/ 9-14941.html/](https://helpiks.org/9-14941.html/)
2. Давыдов Д.С., Куда плывут лососи/Д.С. Давыдов//Биология, №41, 2002/[Электронный ресурс].-Режим доступа:<https://bio.1sept.ru/article.php?ID=200204104>.
3. Рыба-меч //Все о рыбалке / [Электронный ресурс].-Режим доступа:<https://fishingday.org/ryba-mech/>
4. Меркулов В., Загадка плавания рыб /В. Меркулов//Наука и жизнь», №12, 2001г/ [Электронный ресурс].-Режим доступа:<https://www.nkj.ru/archive/articles/7526/>
5. Лодочный электромотор// lodkaVmore/ [Электронный ресурс].- Режим доступа:<https://lodkavmore.life/motory/lodochnyj-elektromotor.html>.
6. Выбор оптимального гребного винта// Motorka.org/[Электронный ресурс].-Режим доступа:https://motorka.org/motory/grebnie_vinty/864-vybor-optimalnogo-grebnogo-vinta.html

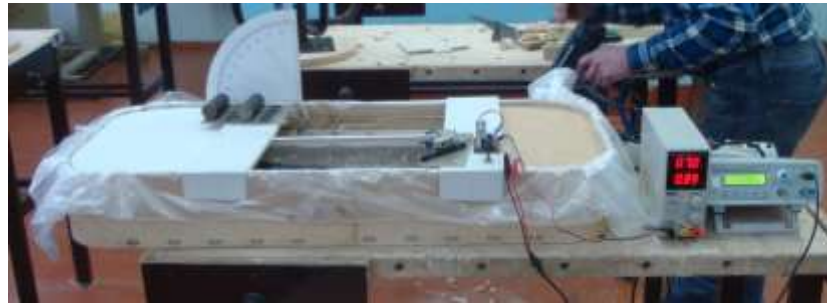


Рисунок 1 Работающая установка.



Рисунок 2 Состав установки.



Рисунок 3 Разделительная перегородка. Слева изображён вид разделительной перегородки снизу, по середине – сверху. Справа изображено прилегание разделительной перегородки ко дну бассейна.



Рисунок 4 Измеритель относительной скорости с разных ракурсов.



Рисунок 1 Электропривод. Слева изображён вид электропривода сверху, а справа – вид сбоку.

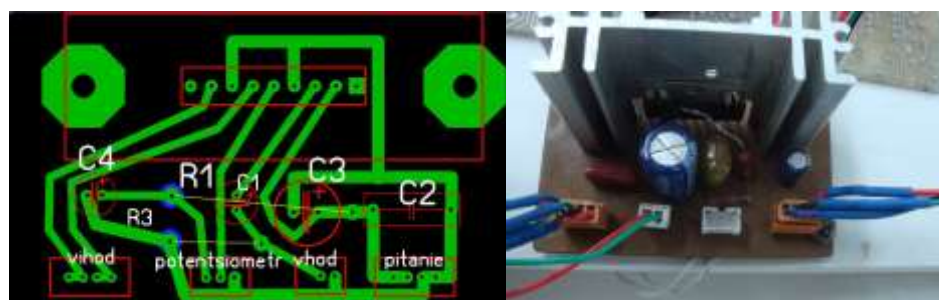
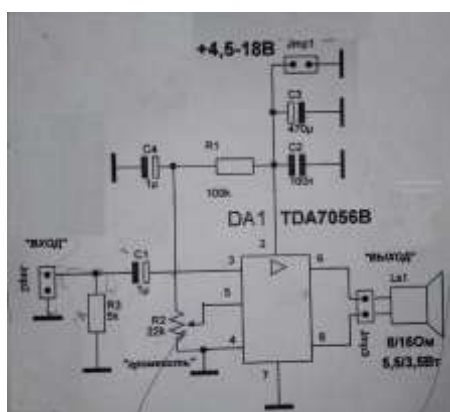


Рисунок 2 Усилительная схема и фотография платы.



Рисунок 3 Электропривод на перегородке.

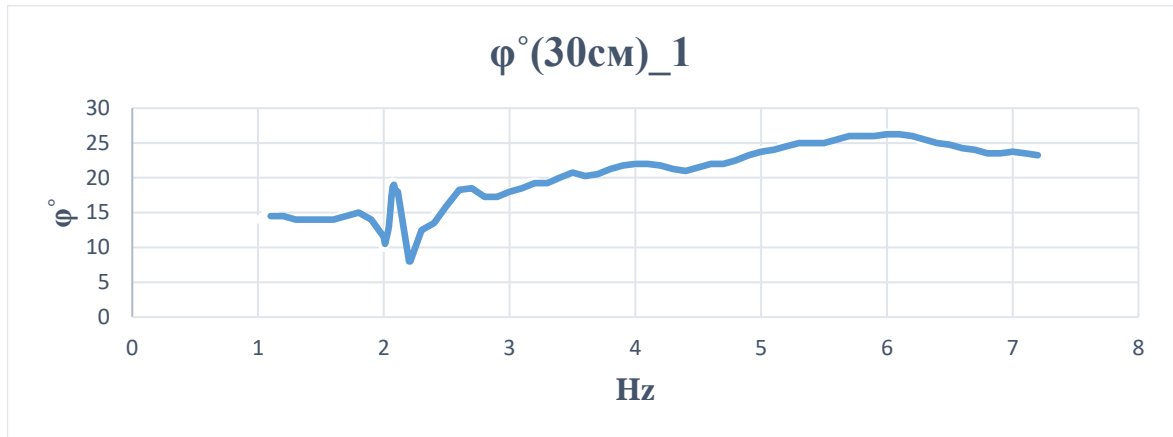


Рисунок 1. График зависимости относительной скорости потока от частоты, полученный после первого эксперимента.

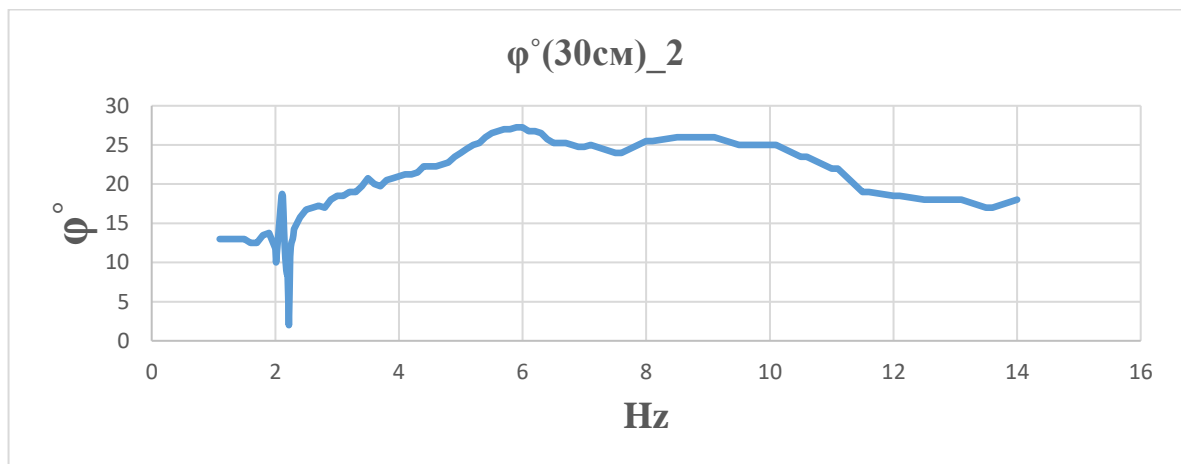


Рисунок 2. График зависимости относительной скорости потока от частоты, полученный после первого эксперимента 1 серии.

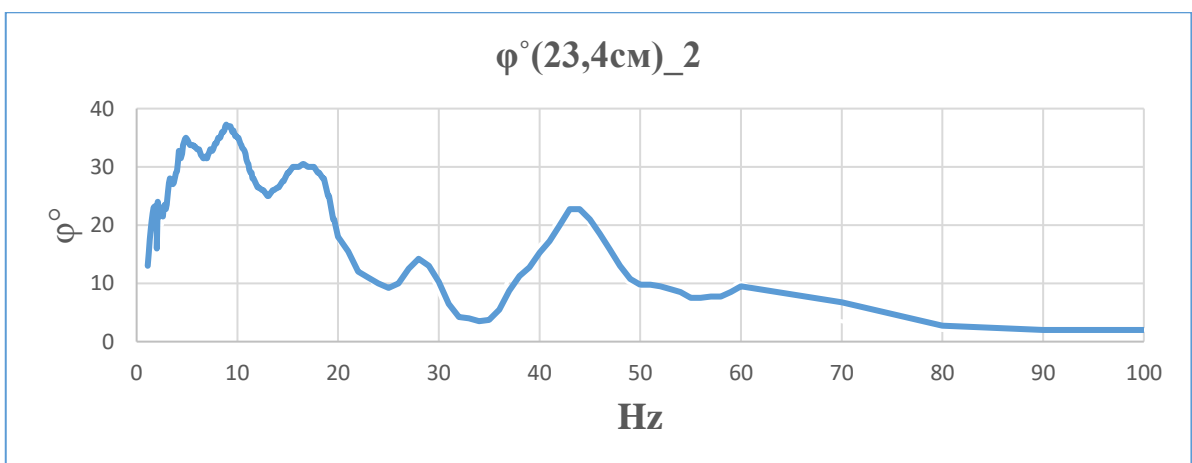


Рисунок 3. График зависимости относительной скорости потока от частоты, полученный после второго эксперимента 1 серии.



Рисунок 1. Сравнительный график для исследуемых плавников из 1-й серии экспериментов.

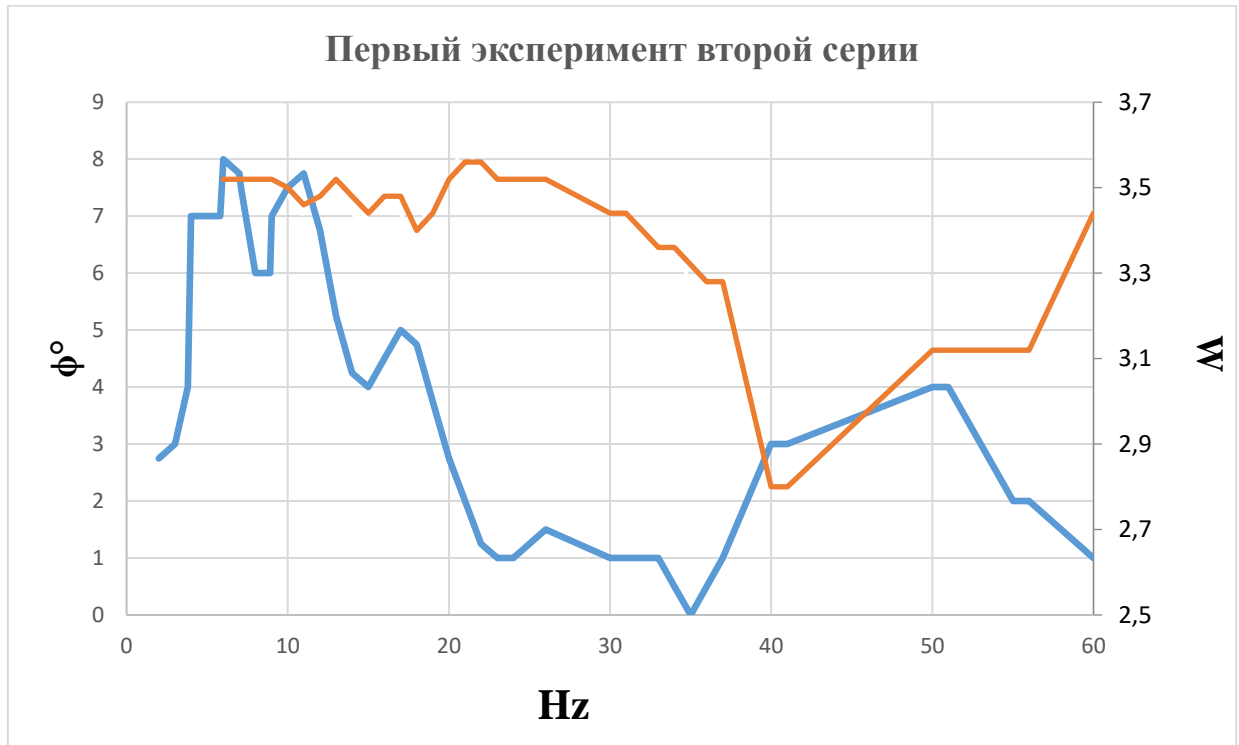


Рисунок 1. График зависимости относительной скорости потока и мощности от частоты, для исследуемого плавника 30 см (2 серия).

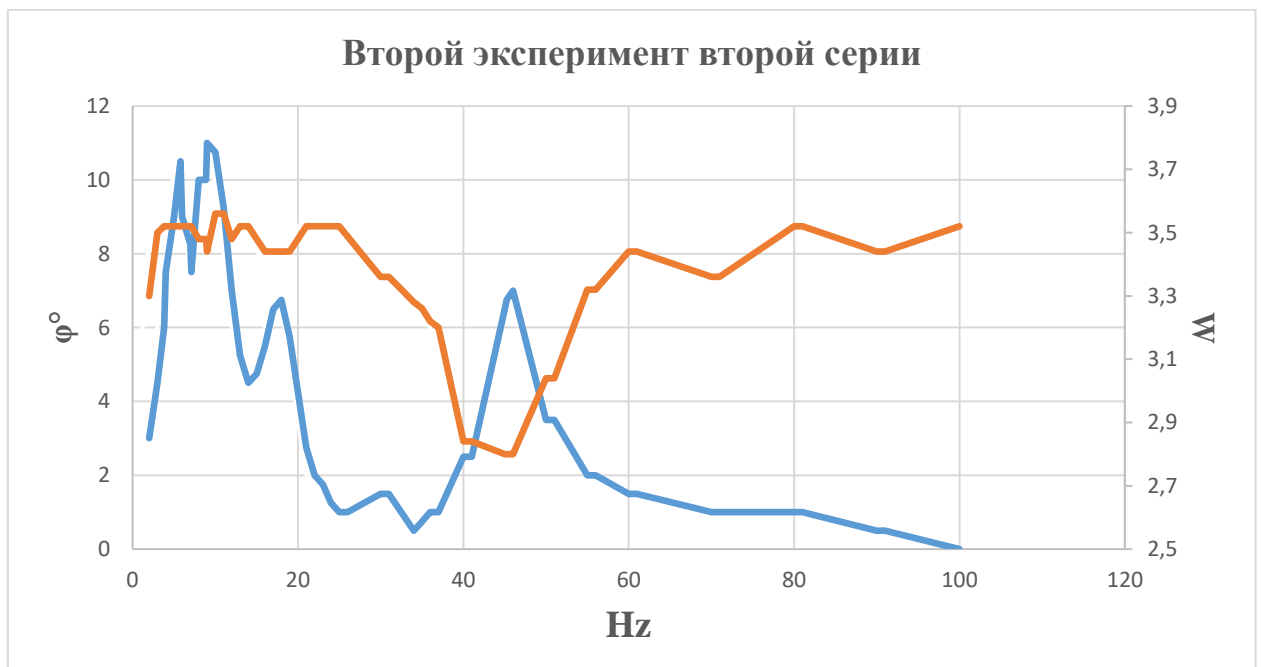


Рисунок 2. График зависимости относительной скорости потока и мощности от частоты, для исследуемого плавника 23,4 см (2 серия).

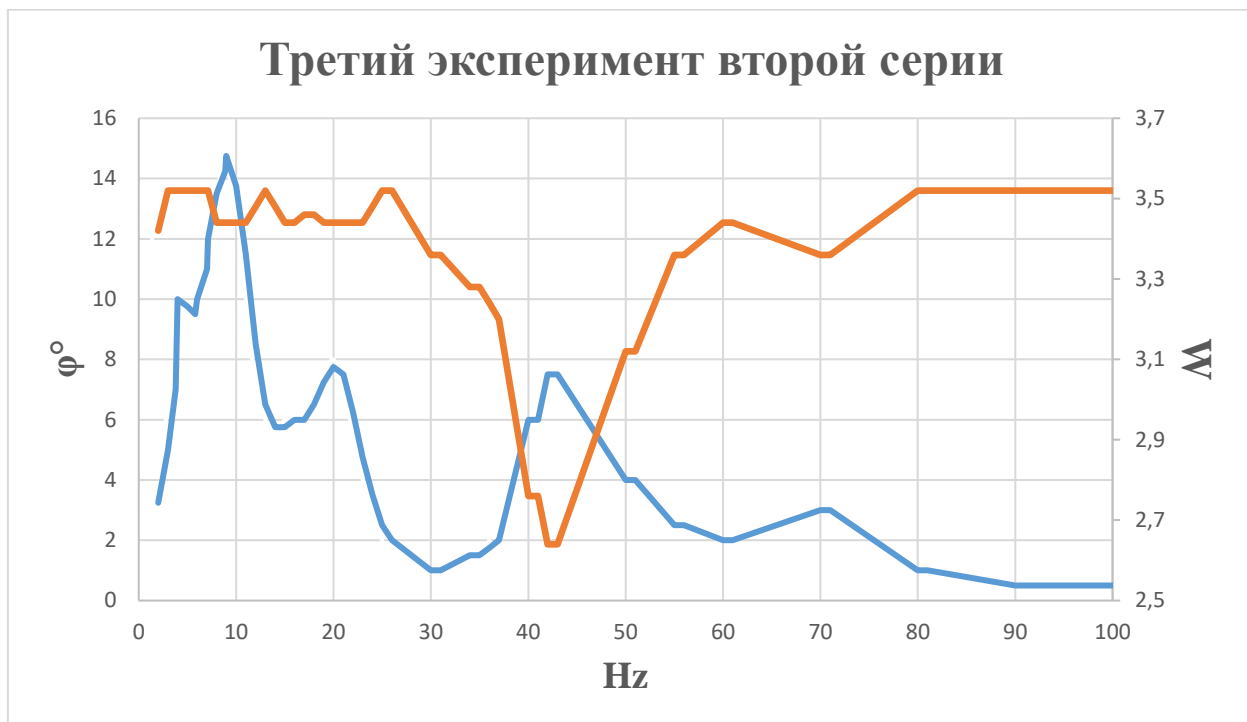


Рисунок 1. График зависимости относительной скорости потока и мощности от частоты, для исследуемого плавника 16,3 см (2 серия).

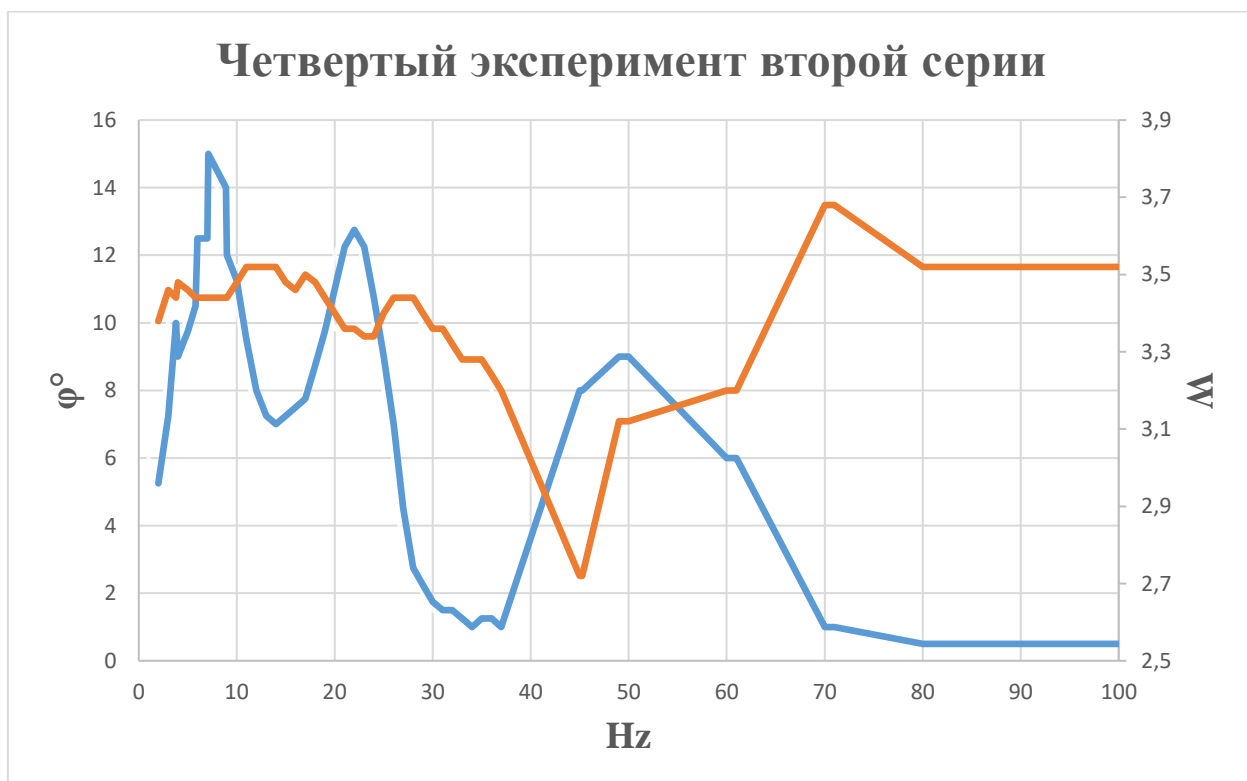


Рисунок 2. График зависимости относительной скорости потока и мощности от частоты, для исследуемого плавника 10 см (2 серия).

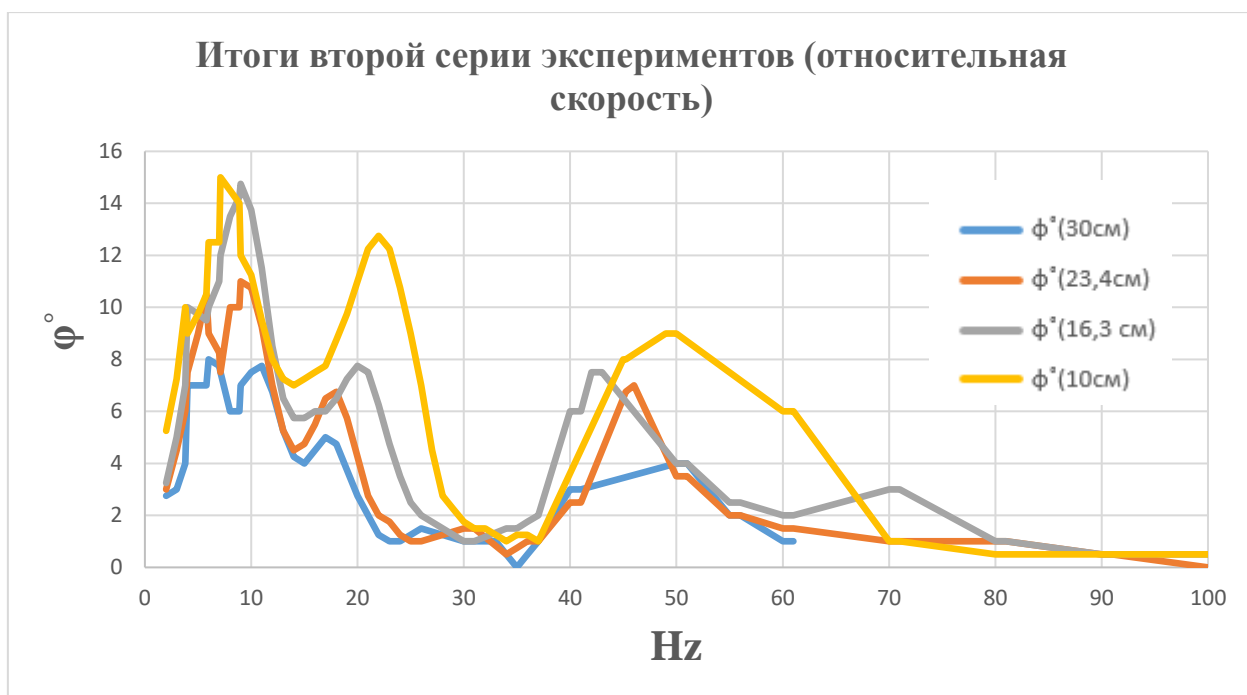


Рисунок 1. Сравнительный график относительной скорости движения для каждого плавника.

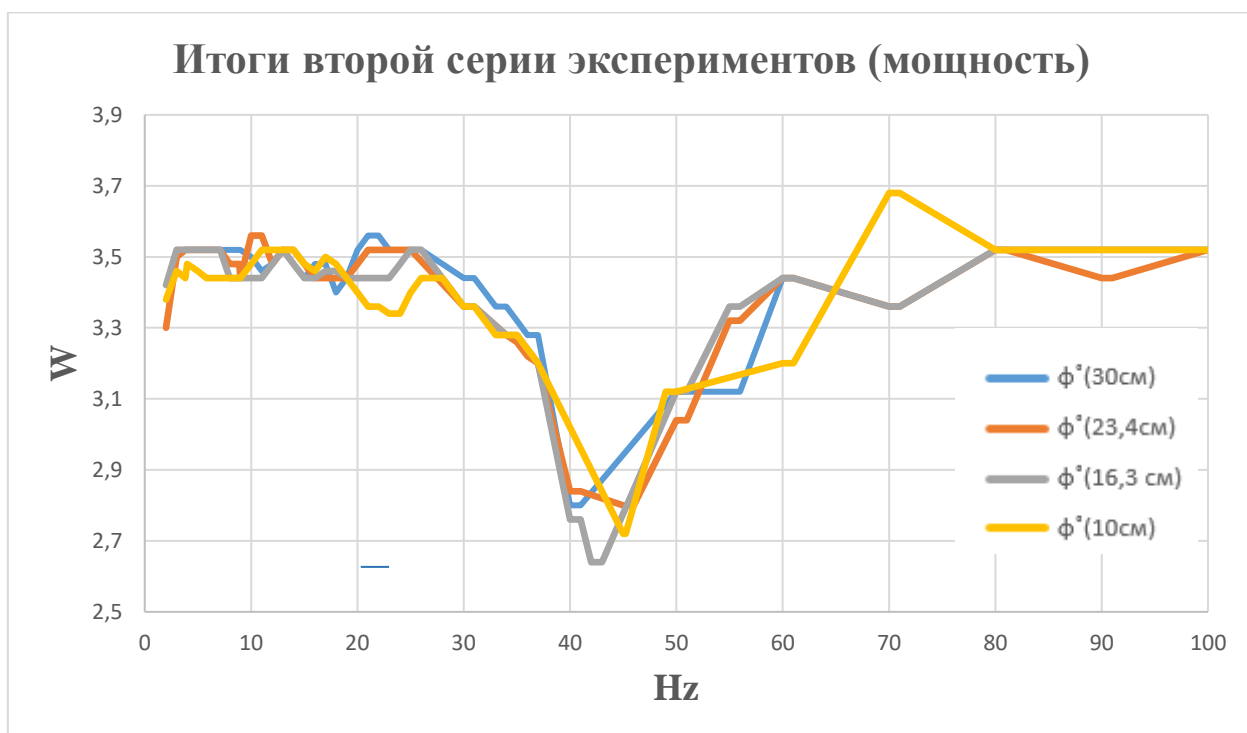


Рисунок 2. Сравнительный график мощности, потребляемой электроприводом, для каждого плавника.