

УДК 531.7., 532.517/045

В.Н. Глушко

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ
НА ВЕЛИЧИНУ ТЯГИ, СОЗДАВАЕМОЙ ВОЛНОВЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ
В ВИДЕ КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ КРЫЛА С УПРУГОЙ ЗАДЕЛКОЙ**

Приведены результаты экспериментального исследования волнового движителя с рабочим органом в виде подпружиненного колеблющегося крыла. Графически представлены зависимости силы тяги F_{cp} колеблющегося крыла от параметров волнения – различных длин λ_w и высот h_w волн. Показано влияние жесткости упругой заделки колеблющегося крыла на величину создаваемой им силы тяги F_{cp} .

Ключевые слова: волновой движитель, колеблющееся крыло, сила тяги F_{cp} , частота f колебаний крыла, длина λ_w и высота h_w волны.

Наведено результати експериментального дослідження хвильового рушія з робочим органом у вигляді підпружиненого коливного крила. Графічно представлені залежності сили тяги F_{cp} коливного крила від параметрів хвилювання – різних довжин λ_w і висот h_w хвиль. Показано вплив жорсткості пружного закладення коливного крила на величину створюваної ним сили тяги F_{cp} .

Ключові слова: хвильовий рушій, нестійке крило, сила тяги F_{cp} , частота f коливань крила, довжина λ_w і висота h_w хвилі.

The results of experimental studies of wave mover with a working body in the form of a spring-loaded oscillating wing. Graphically presented according traction F_{cp} oscillating wing on the parameters of the excitement – of different lengths λ_w and heights h_w waves. The influence of the rigidity of the elastic sealing oscillating wing on the value created by their traction F_{cp} .

Keywords: wave propulsion, oscillating wing thrust F_{cp} , oscillation frequency f of the wing length λ_w and height h_w wave.

Введение. По оценке ученых запасы кинетической энергии волнения мирового океана оценивается в 2,7 млрд. кВт, что составляет около 30 % потребляемой в мире электроэнергии [1]. Идея получения энергии от морских волн давно интересует ученых инженеров и изобретателей, хотя эта возможность и не связана с каким-либо выдающимся изобретением, знаменующим событие в технике. Она выступает как результат и выражение достаточно высокого научного потенциала, достигнутого мировой наукой. И сегодня вопрос состоит не о принципиальной реализуемости в судостроении волновых движителей, а о том, насколько эта реализация оправдана и увязана с необходимостью удовлетворения комплексов требований, среди которых собственно энергетические проблемы не являются самодовлеющими.

Сюда относится в первую очередь все более отчетливо осознаваемая необходимость изменения структуры энергоносителей путем развития альтернативных (по отношению к нефти, газу и углю) источников энергии для уменьшения загрязнения среды и создания предпосылок внедрения технологий, альтернативных использованию ископаемого топлива.

Известно, что судно в океанском или морском плавании значительную часть своей деятельности проводит в условиях большего или меньшего волнения, представляющего не что иное, как одну из форм механической энергии, запас которой практически неисчерпаем.

Будучи окружено во время движения совершенно даровой энергией, судно воспринимает эту энергию как источник неудобства и вреда. Более того, чтобы избавиться судно от воздействия этой энергии, прибегают к средствам (успокоителям качки), требующим почти всегда дополнительного расходования судном собственной энергии из внутренних запасов [2; 3]. Поэтому проблемой исключительной важности является разработка практических методов реализации энергии морского волнения (ЭМВ) с целью создания движущей силы на корпусе судна. Необходимо только, чтобы устройства, использующие ЭМВ, не были слишком дорогими, сложными в управлении, чтобы их амортизация и эксплуатационные расходы не превысили приносимых выгод.

Рассмотрим более подробно, что происходит с «подтекающими» к судну запасами энергии, если судно имеет обычную конструкцию и не снабжено какими-либо специальными устройствами для использования ЭМВ. Первая часть механической энергии волнообразования, проходящая мимо корпуса судна, оттекает бесследно в форме волн уменьшенной интенсивности, уходящих с подветренного борта. Вторая часть энергии отражается от судна и оттекает в виде волн уменьшенной интенсивности, идущих навстречу набегающим волнам от наветренного борта. Третья часть энергии рассеивается при ударе волн о корпус судна и остается в виде энергии брызгообразования, завихрения и нагревания воды, и, наконец, четвертая часть энергии идет на раскачивание судна и аккумулируется им в виде механической энергии колебательного движения. Каждая из этих частей может служить объектом ее улавливания. Наиболее перспективной представляется последняя часть, уже превращенная судном в энергию качки.

Имея целью использование энергии качки с помощью специальных устройств, нужно стремиться к тому, чтобы корпус судна оказывал как можно меньшее сопротивление при качке, а главную роль в гашении амплитуды качки выполняло устройство, использующее ЭМВ. Другими словами, чтобы рассеивание энергии качки происходило возможно больше путем ее утилизации через специальное устройство и возможно меньше путем непосредственной отдачи корпусом энергии воде.

Постановка задачі. Впервые поставил эту проблему в 1936 году «пионер» в области использования энергии качки судна на волнении для его движения академик Г.Е. Павленко [4]. Он, в частности, произвел приближенную количественную оценку той части ЭМВ, которая может превращаться в энергию качки судна. По его расчетам в энергию качки может превратиться сравнительно небольшая часть ЭМВ, равная примерно 15 %, что представляет собой весьма внушительную величину, а самое главное, эту энергию судно уже «держит в руках» и притом в форме механической энергии качки. В этом случае заглубление крыла делается значительно большим таким образом, чтобы крыло работало в маловозмущенной среде. Связанное с корпусом крыло получает дополнительную вертикальную скорость, которая может быть существенно выше, чем соответствующая этому моменту времени орбитальная скорость частиц в воде.

Известно, что одним из способов уменьшения качки судна является использование установленных в его подводной части крыльевых поверхностей, стационарных или выдвижных рулей, килей и т. д. [3; 5]. В то же время известны результаты исследований, которые показывают, что подвижные подводные крылья, установленные на судне, могут при волнении создавать и дополнительную тягу – работать как волновые движители, т.е. движители, использующие энергию качки судна, возникающего на волнении. Установка подводных крыльевых устройств на судне позволяет получать дополнительную тягу при его движении, увеличивать его скорость или уменьшать расход топлива [6; 7].

Широко распространенное в природе и применяемое в качестве движителя колеблющееся крыло (плавник), является обычно эластичным. Изучение принципов движения гидробионтов и пропульсивных качеств их движителей говорит о перспективности использования в технике бионических движителей типа «колеблющееся крыло» [8; 9; 10]. Однако в связи со слабой изученностью проблемы в целом и отсутствию научно обоснованных рекомендаций по практическому использованию гибких крыльев в качестве движителей в технике пока еще используются жесткие крылья.

Большее количество теоретических, экспериментальных и опытно-конструкторских работ к настоящему времени выполнено применительно к изолированному жесткому колеблющемуся крылу, работающему в качестве движителя, в том числе и в Институте гидромеханики НАНУ [11-22].

Несмотря на активное развитие численных методов в нестационарной гидродинамике и все более широкое внедрение численного эксперимента, в то же время не снижается и даже возрастает роль физического эксперимента, необходимого для проверки достоверности разработанных математических моделей. Сегодня эффективное решение новых классов задач нестационарной гидродинамики возможно только при органическом единстве теории и эксперимента.

Основные закономерности образования и получения гидродинамических сил на колеблющемся крыле получены и осмыслены в рамках линейной теории [13; 14]. Классические результаты относятся к случаю либо поступательных, либо чисто вращательных колебаний. Наиболее интересны при использовании энергии морского волнения (ЭМВ) совместные вращательно-поступательные колебания крыла, которые в классических работах подробно не рассматривались.

Физически совершенно очевидно, что любые выступающие за обводы подводной части корпуса судна устройства увеличивают его гидродинамическое сопротивление как при движении на тихой воде, так и в условиях волнения. Это положение в полной мере относится и к крыльям, как подвижным во время работы, так и установленным жестко.

С другой стороны, на крыле, в том числе и установленном неподвижно, благодаря отклонению вектора набегающего потока от горизонтали при волнении и качке судна, и появлении на крыле угла атаки $\alpha \neq 0$, будет возникать подъемная сила.

Обычно считают, что движение частиц воды в волне происходит по круговым орбитам. Сама волна имеет профиль трохoidalного типа. В точках пересечения профиля волны с линией, соответствующей уровню невозмущенной поверхности моря, скорости воды V_w направлены вертикально вниз или вверх. Если за бортом судна установить горизонтально крыло таким образом, чтобы оно находилось вблизи поверхности воды, но при этом при любой высоте волны не выходило из воды, то при движении судна вперед при волнении крыло будет обтекаться водой с переменной скоростью W , являющейся векторной суммой скорости хода судна V_c и скорости частиц воды в волне V_w (рисунок 1, а). Если при этом еще периодически поворачивать крыло относительно некоторой горизонтальной оси так, чтобы крыло обтекалось под оптимальным углом атаки и возникающая на крыле подъемная сила Y была направлена наклонно вперед (рисунок 1, б), появится возможность дополнительно увеличить горизонтальную составляющую T , которая будет дополнительной тягой, содействующей движению судна вперед. Такой волновой движитель крыльевого типа позволяет непосредственно преобразовывать кинетическую энергию орбитального движения воды в волне в тягу.

На судах, которые в значительной степени подвержены килевой качке, более целесообразно было бы использовать не непосредственно кинетическую энергию орбитального движения воды, а энергию качки судна, т.е. колебательного движения корпуса судна относительно уровня моря [4]. Однако, поскольку судно на волнении обычно подвержено качке, то крыло вместе с корпусом будет совершать некоторые вертикальные перемещения, что уменьшит величину действующей на крыло скорости V_w , и, следовательно, эффективность такого движителя. В этом случае заглубление крыла делается значительно большим так, чтобы крыло работало в маловозмущенной среде.

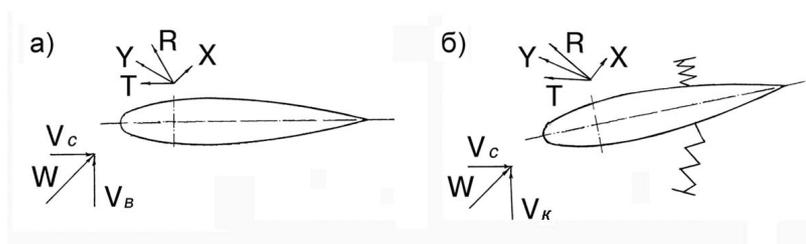


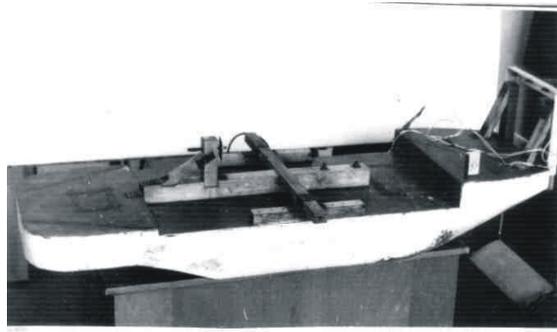
Рис. 1. Силы действующие на крыло:
а – крыло с жесткой заделкой;
б – крыло с упругой заделкой

Связанное с корпусом крыло получает дополнительную вертикальную скорость V_k , которая может быть существенно выше, чем соответствующая этому моменту времени орбитальная скорость частиц в воде V_b (рисунок 1, б). Если крыло имеет ось вращения, расположенную значительно ближе к носку профиля, чем центр давления, то под действием гидродинамических сил крыло будет стремиться занять флюгерное положение и отклонится от первоначального положения в сторону действия этих сил. Если ограничить поворот крыла некоторыми пружинными упорами (как на рисунке 1, б), то оно займет некоторое промежуточное положение между исходным и флюгерным под некоторым углом атаки к набегающему потоку W .

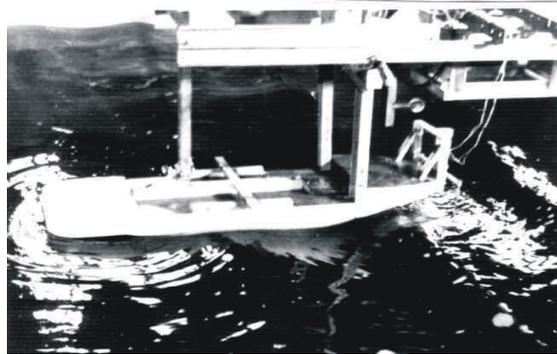
Экспериментальная установка и методика исследований. Экспериментальные исследования модели судна проекта 90140 (предоставленного Н.В. Шайбо) с волновым движителем (ВД) проводились в опытном бассейне ИГМ НАН Украины.

В программу исследований входило проведение испытаний модели с ВД на швартовых в условиях регулярного волнения. Фотографии дают представление о модели с ВД во время его монтажа (рисунок 2, а) и в бассейне на волнении (рисунок 2, б).

Рабочим органом ВД являлось колеблющееся крыло, которое имело возможность совершать вращательно-колебательные движения относительно своей передней кромки, амплитуда этих колебаний обуславливалась величиной гидродинамического напора, возникающего при колебаниях крыла в волне, и жесткостью пружин, которые служили ограничителями поворота крыла. Частота колебаний f крыла относительно его передней кромки определялась длиной волны λ_e , а амплитуда угловых колебаний зависела от высоты волны h_e и величины жесткости пружин-ограничителей.



a



б

*Рис. 2. Модель с ВД:
а – во время монтажа;
б – на волнении при проведении экспериментальных исследований*

Основные параметры проекта 90140 приведены в таблице.

Главные размеры Названия элементов	Модель судна, м
Длина наибольшая, $L_{нб}$	1,46
Длина между перпендикулярами, $L_{пп}$	1,40
Ширина наибольшая, $B_{нб}$	0,45
Высота борта на модели	0,15
Осадка средняя, $T_{ср}$	0,081
Ширина при $T_{ср}$	0,43
Водоизмещение при $T_{ср}$	0,0295
Смоченная поверхность, S	0,582
Площадь ватерлинии, F	0,487

Модель крепились к стационарной раме и жестко закреплялась при помощи 4 тяг. В носовой части модели крепился ВД (рисунок 2, а). Регулярное волнение, т.е. длительная последовательность волн с заданными параметрами в условиях опытового бассейна, создавалось волнопродуктором в виде колеблющегося щита, расположенного вблизи торцевой стенки чаши бассейна. Период τ и амплитуда α колебаний щита определяли длину λ_e и высоту h_e создаваемых волн.

Необходимые параметры волны в опытовом бассейне задавались путем подбора величин амплитуд α колебаний щита волнопродуктора при известном значении периода τ . Высоты волн задавались $h_e = 0,10$ м; $0,15$ м; $0,20$ м, длины λ_e от 2 до 5 м, при этом частоты колебаний крыла в волне составляли $f = 0,4 - 2,2$ Гц.

Параметры волны измерялись и регистрировались штатным прибором – волнографом, который располагался в средней части бассейна. По показаниям волнографа производился контроль и регулирование параметров волн в процессе «настройки» волнопродуктора.

У противоположной волнопродуктору торцевой стенки опытового бассейна располагался волногаситель в виде наклонной решетки, который ослаблял и гасил набегающие волны, предотвращая в значительной мере их отражение и последующее влияние на равномерность и однородность генерируемых волн.

В проведенных исследованиях применялось жесткое прямоугольное крыло с симметричным профилем НАСА – 0015 с хордой $b = 0,12$ м, длиной $l = 0,36$ м, изготовленное из дюралюминия Д16АТ пустотелым так, чтобы его вес равнялся весу вытесненной воды.

Крыло располагалось на две величины хорды профиля ниже конструктивной ватерлинии (КВЛ) модели судна, что считается оптимальным с точки зрения получения наибольшей тяги при движении судна на волнении [4].

Исследуемое крыло по передней кромке устанавливалось шарнирно на двух тягах и подкреплялось с каждой стороны крыла (попарно по краям) двумя, четырьмя или шестью плоскими пружинами, изготовленными из стали 65Г толщиной 0,5 мм и шириной 7,5 мм, которые служили ограничителями поворота крыла. Пружины-ограничители крепились жестко внизу к П-образной обтекаемой каплевидной раме около шарниров, на которых крепилось крыло (рисунок 2, а).

Пружины были изготовлены в количестве 6 пар (12 штук) с тем, чтобы можно было менять их количество в упругой заделке по краям крыла, а значит и ее жесткость, т.е. регулировать величину момента сопротивления повороту крыла в зависимости от количества этих пружин.

Тяги через двухкомпонентную тензобалку и через П-образную ферму крепились к модели судна. Вертикальные тензоэлементы тензобалки измеряли продольную составляющую равнодействующей гидродинамических сил, действующих на колеблющееся в жидкости крыло (т.е. тягу), а горизонтальные тензоэлементы – поперечную составляющую

той же равнодействующей. Для каждого цикла испытаний проводилась статическая тарировка тензобалки с записью на осциллографе, по данным которой строились тарировочные кривые.

С полученных экспериментальным путем осциллограмм интегрированием по площадям определялась средняя за период колебаний горизонтальная составляющая F_{cp} равнодействующей всех сил, действующих на колеблющееся крыло ВД.

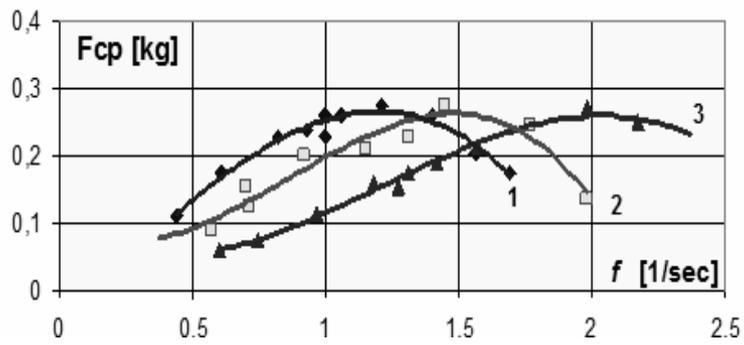
Таким образом, сила F_{cp} являлась «чистой» силой тяги, которую создавал ВД на «швартовых», и которая может быть использована для преодоления силы сопротивления движущегося транспортного средства, на котором установлен такой движитель.

Результаты исследований. Путем подбора различных высот h_e и длин λ_e волн, задавалась частота f колебаний крыла в волне, а значит и тяга, создаваемая ВД, которая в свою очередь регулировалась жесткостью пружин-ограничителей.

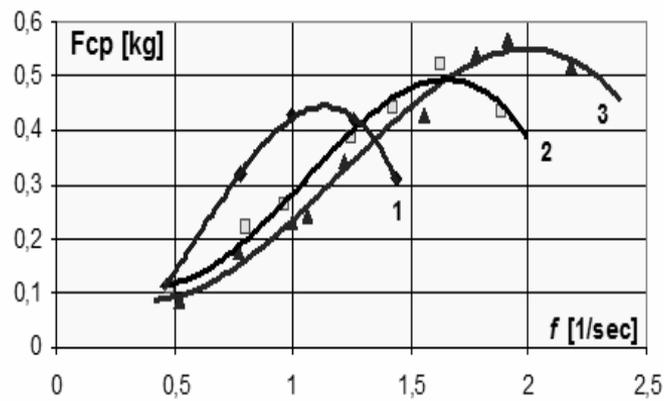
Посредством изменения количества пружин-ограничителей менялась жесткость упоров у колеблющегося в воде крыла (положение 1 на рисунке 3 – по 2 пружины по бокам крыла (4 шт.), 2 – по 4 пружины по бокам крыла (8 шт) и 3-6 пружин по бокам крыла (12 шт.), мягкая, средняя и жесткая заделка соответственно).

Влияние жесткости упругой заделки крыла (т.е. плоских пружин-ограничителей) на величину средней тяги, создаваемой колеблющимся крылом, показано на рисунке 3, где высота волны $h_e = 0,10$ м (а); 0,15 м (б); 0,20 м (в) соответственно. Длины λ_e волн задавались от 2 до 5 м. Показаны результаты измерения гидродинамического упора (тяги) F_{cp} , создаваемого волновым движителем при малой 1, средней 2 и большей 3 жесткости пружин-ограничителей.

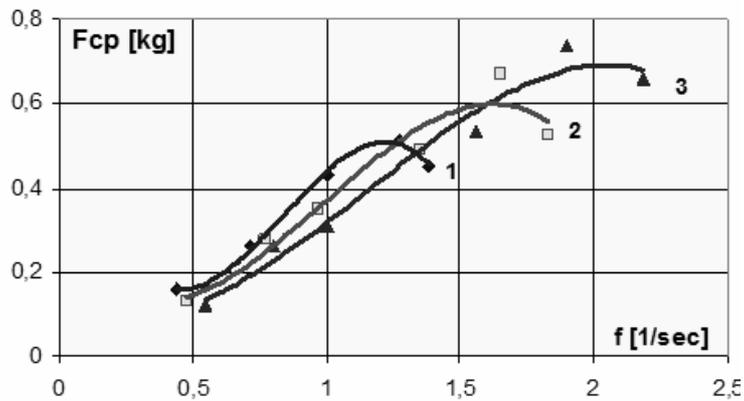
Из анализа зависимостей $F_{cp}(f)$ следует, что величина жесткости пружин – ограничителей существенно влияет на пропульсивные характеристики волнового движителя. С увеличением частоты колебаний крыла f более податливые пружины-ограничители позволяют крылу сделать больший поворот относительно горизонтальной оси, находящейся на линии передней кромки крыла. При этом наклон хорды профиля крыла в момент прохождения им нейтральной оси увеличится, что приведет к увеличению проекции равнодействующей гидродинамических сил на продольную ось (рисунок 1, б), т.е. увеличится сила тяги, создаваемой волновым движителем. Каждая из кривых $F_{cp}(f)$ достигает максимума при определенной частоте колебаний f , величина которой в данном случае зависит от высоты волны h_e , длины волны λ_e и жесткости ограничивающих пружин. При малых значениях частоты $f < 1$ Гц значения силы тяги колеблющегося крыла линейно зависят от величины частоты колебаний f и обратно пропорциональны величине жесткости ограничивающих пружин.



a



б

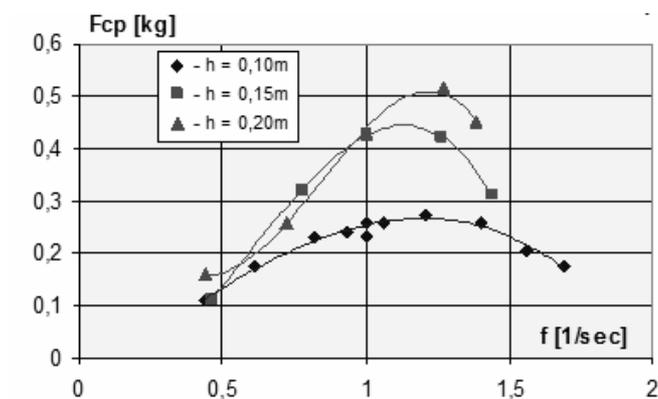


в

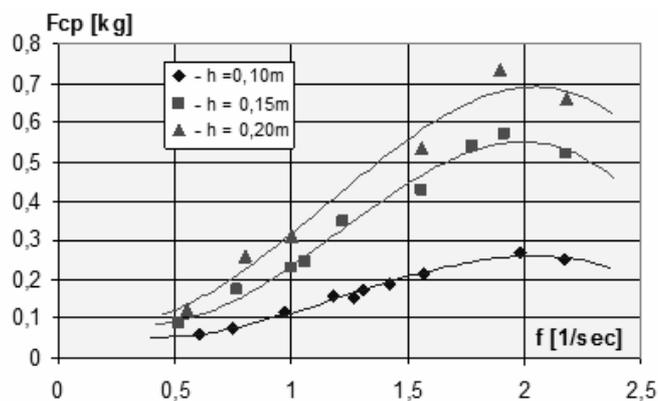
Рис. 3. Зависимости средней за период колебаний силы тяги ВД F_{cp} в зависимости от частоты f колебаний крыла в волне, где высоты волн: $h = 0,10$ м (а); $0,15$ м (б); $0,20$ м (в); при «мягкой» 1, «средней» 2 и «жесткой» 3 заделке пружин соответственно

С увеличением частоты эта линейность нарушается и меняется зависимость величины F_{cp} от величины жесткости пружин с обратной на прямую. Это происходит от того, что сила гидродинамического напора, обуславливающая отклонение крыла в волне относительно горизонтальной оси, при более высоких частотах колебаний не успевает отклонить крыло на оптимальный угол и угловая амплитуда колебаний крыла снижается [10].

Влияние величины высоты волны $h_в$ на величину силы тяги ВД при одной и той же жесткости упругой заделки крыла показано на рисунке 4, где четко прослеживается прямая зависимость величины силы тяги F_{cp} от величины $h_в$ как для мягкой, так и для жесткой упругой заделки колеблющегося крыла.



а



б

Рис. 4. Зависимости средней за период колебаний силы тяги ВД F_{cp} в зависимости от высоты волны $h_в$ и частоты f колебаний крыла в волне: а – мягкая заделка пружин-ограничителей; б – жесткая заделка

Кроме того, оказалось, что каждой величине жесткости упругой заделки крыла соответствует своя определенная оптимальная частота колебаний f (а значит и длина волны λ_0), которая не зависит от высоты волны h_0 . При этой оптимальной (для данной жесткости упругой заделки крыла) длине волны высота волны h_0 влияет только на величину создаваемой ВД силы тяги F_{cp} .

В результате проведенных исследований получены обобщенные зависимости значений силы тяги F_{cp} от различных величин частоты колебаний крыла f и параметров волны h_0 и λ_0 , которые показывают путь повышения пропульсивных характеристик ВД.

Отсюда следует, что для каждого режима работы волнового движителя можно задать такую жесткость упоров-ограничителей, при которой величина силы тяги, возникающая на колеблющемся крыле, будет максимальной.

Автор отдает себе отчет в том, что на характер изменения кривых F_{cp} на графиках с увеличением частоты f оказывает влияние структура возмущения волны.

Коэффициент тяги в данной работе не мог быть определен потому, что в условиях данного эксперимента не представлялось возможным определить угловую амплитуду колебаний крыла (т.е. и линейную амплитуду колебаний задней кромки крыла), что, в свою очередь, не позволило определить площадь рабочего сечения ВД.

Выводы. Показано влияние величины жесткости упругой заделки колеблющегося крыла (рабочего органа ВД) на величину создаваемой им силы тяги. Представленные результаты показывают, что можно достаточно эффективно при некоторых режимах работы ВД использовать крыло с пассивной перекладкой, подбирая пружины-ограничители определенной жесткости, что позволит максимально упростить ВД и систему его управления.

В результате проведенных исследований получены зависимости максимальных значений тяги F_{cp} при различных частотах колебаний крыла f и при разных высотах волны h_0 , которые позволяют спрогнозировать такую жесткость упоров ограничителей, при которой величина силы тяги, возникающая на колеблющемся крыле, будет максимальной.

Для достижения более высоких пропульсивных характеристик ВД необходимо совершенствовать кинематику рабочего органа ВД в течение периода колебаний, чтобы получать максимальную тягу движителя для конкретной скорости движения судна в зависимости от параметров волнения моря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Росс Д. Энергия волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 111 с.
2. Басин А.М. Качка судов. – М.: Транспорт, 1969. – 272 с.
3. Шмырев А.Н. Успокоители качки судов / А.Н. Шмырев, В.А. Моренишльд, С.Г. Ильина. – Л.: Судпромгиз, 1961. – 516 с.
4. Павленко Г.Е. Исследование энергии качки на волнении для движения судов // Сб. «Судостроение». – 1936. – № 6.
5. Бородай И.К. Качка судов на морском волнении / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев. – Л.: Судостроение, 1969. – 432 с.
6. Федорко П.П. Исследование энергии волн для движения судна // Судостроение за рубежом. – 1985. – № 7.
7. Сенькин Ю.Ф. Движет судно энергия волн // Катера и яхты. – 1987. – № 2.
8. Каян В.П. О гидродинамических характеристиках плавникового движителя дельфина // Бионика. – 1970. – Вып.13. – С. 915.
9. Глушко В.Н., Каян В.П., Козлов Л.Ф. Исследование гидродинамики колеблющегося крыла с жестким и пассивно деформируемым профилем // Математические методы механики жидкости и газа. – Днепропетровск: ДГУ, 1986. – С. 29-32.
10. Глушко В.Н., Каян В.П., Козлов Л.Ф. Влияние упругой заделки на гидродинамические характеристики колеблющегося крыла // Математические методы механики жидкости и газа. – Днепропетровск: ДГУ, 1986. – С. 30-32.
11. Савченко Ю.Н. Некоторые особенности гидродинамики движителя типа «машущее крыло» // Бионика. – 1971. – Вып. 5. – С. 11-19.
12. Горелов Д.Н. Экспериментальное исследование тяги машущего крыла // Бионика. – 1980. – Вып. 134. – С. 42-45.
13. Довгий С.А., Каян В.П. К методике определения тяги, создаваемой колеблющимся крылом // Бионика. – 1981. – Вып. 15. – С.55-59.
14. Алгазин В.А. Теоретическое исследование силы тяги колеблющегося крыла конечного размаха // Бионика. – 1983. – Вып. 18. – С. 52-57.
15. Каян В.П. Экспериментальные исследования гидродинамического упора создаваемого колеблющимся крылом // Бионика. – 1983. – Вып. 17. – С. 45-49.
16. Глушко В.Н. Гидродинамические характеристики прямоугольного колеблющегося крыла / В.Н. Глушко, В.П. Каян, Л.Ф. Козлов // Бионика. – 1984. – Вып.18. – С. 40-44.

17. Глушко В.Н. О гидродинамических характеристиках жесткого прямоугольного колеблющегося крыла // Гидромеханика. – 1987. – № 5 6. – С.43-47.
18. А.с. 1481721 СССР, МКИ В 63 Н 1/36. Способ регулирования тяги судового машущего движителя / В.П. Каян, Л.Ф. Козлов, В.Н. Глушко, А.А. Афонин, А.М. Бурденко. – Оубл. 1989. – Бюл. № 39.
19. А.с. 1615056 СССР, МКИ В 63 Н 1/36. Способ регулирования тяги судового машущего движителя / В.Н. Глушко, В.П. Каян, Л.Ф. Козлов, В.А. Кочин. – Оубл.1990. – Бюл. № 47.
20. Глушко В.Н. Экспериментальное исследование гидродинамики жесткого колеблющегося крыла / В.Н. Глушко, В.П. Каян // Бионика. – 1992. – Вып. 25. – С.71-75.
21. Kayan V.P., Glushko V.N. Researeh of Hydrodynamics of a Fin Propulsor // In book: First International Industrial Conference. – Hanover, Germany: Bionic 2004. – 2004. – P. 179-184.
22. Патент на корисну модель № 81736 / В.Н. Глушко, В.П. Каян. – 10.07.2013.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2015