

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-67-77  
УДК 629.5.035+685.732

Ю.В. Швед  
Московский авиационный институт, Москва, Россия

## САМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИЙСЯ ЛОПАСТНОЙ ДВИЖИТЕЛЬ

**Объект и цель научной работы.** Предложенное в статье техническое решение относится к лопастным движителям в текучей среде, в т.ч. с колеблющимися лопастями, и направлено на обеспечение самоустановки лопастей на оптимальный угол атаки.

**Материалы и методы.** Для обеспечения самоустановки лопасти на оптимальный угол атаки использовалось свойство пограничного слоя вязкого течения, обтекающего систему профилей, принимать различную толщину на противоположных сторонах профилей с ненулевым установочным углом, образуя несимметричное тело вытеснения.

С учетом этого свойства для получения технического результата применены закрепленные на единой оси лопасть с крыловым стабилизирующим элементом, причем ось их вращения находится между полученными по линейной теории точкой приложения равнодействующей гидродинамических сил (центром давления) лопасти без стабилизатора и центром давления этой же лопасти со стабилизирующим крыловидным элементом. Заявленное качество пропульсивной системы подтверждено экспериментально.

**Основные результаты.** Экспериментально показано, что при правильно выбранной координате оси вращения в вязкой текучей среде существует зона устойчивости по углу атаки, в т.ч. для симметричных аэродинамических профилей, установленных друг за другом с нулевым установочным углом. Это позволяет использовать их в движителе плавникового типа, однако в последнем случае во избежание заклинивания лопасти при смене направления колебания требуется переставное устройство. В нем согласно предложенному техническому решению ось лопасти соединена с приводными балками через водила, а на приводных балках выполнены направляющие, захватывающие носик лопасти при смене направления колебания.

**Заключение.** Предложенное и экспериментально опробованное решение открывает возможность внедрения простых и в то же время эффективных движителей с машущим подводным крылом. На основе указанной конструкции автором предложены ласты с повышенным пропульсивным коэффициентом в широком диапазоне скоростей, а также плавательное средство на шарнирно присоединенных подводных крыльях, не требующее для поддержания скорости гребного винта.

**Ключевые слова:** транспортирование, лопастные движители, судовые движители с колебательным движением, гребные винты с перестановкой лопастей, принадлежности для облегчения плавания.

*Автор заявляет об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

DOI: 10.24937/2542-2324-2023-1-403-67-77  
UDC 629.5.035+685.732

Yu.V. Shved  
Moscow Aviation Institute, Russia

## SELF-STABILIZING PROPELLER

**Object and purpose of research.** The solution discussed in this paper is applicable to the propellers (including those with oscillating blades) operating in fluids, and is intended to ensure self-adjustment of blades to the optimal attack angle.

**Materials and methods.** Blade self-adjustment to the optimal attack angle was achieved through one of the properties of the boundary layer for viscous flow around the foil system: this layer acquires different thickness at the opposite sides of foils with non-zero installation angle, thus becoming an asymmetric displacement body.

The propeller intended to use this property had its blade and a stabilizing foil attached to a common axis so that the rotation axis of both the blade and the foil was between the application points of the hydrodynamic resultant force (i.e. centers of pressure)

*Для цитирования:* Швед Ю.В. Самостабилизирующийся лопастной движитель. Труды Крыловского государственного научного центра. 2023; 1(403): 67–77.

*For citations:* Shved Yu.V. Self-stabilizing propeller. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2023; 1(403): 67–77 (in Russian).

for the blade with and without the stabilizing foil. The locations of pressure centers were calculated as per the linear theory. This property of the propulsion system was confirmed experimentally.

**Main results.** It was experimentally demonstrated that proper selection of the rotation axis coordinate in a viscous fluid creates a zone of stable attack angles. This zone also exists for symmetric foils arranged one after another with non-zero installation angle. It means that these foils could be used in a fin-type propulsor, but this will require a control device preventing blade lock due to reversal of oscillation direction. In the suggested solution, blade axis is connected with driving rods by means of steering arms, and the driving rods themselves have guides locking blade tips when oscillation direction changes.

**Conclusion.** The solution suggested in this paper has been experimentally validated, and it paves way to introduction of simple but efficient fin-type propulsors. Following this design, the author suggests a flipper with increased propulsion efficiency in a wide range of speeds, as well as a propulsor based on hinged hydrofoils: this design does not need propeller to maintain the speed.

**Keywords:** transportation, propellers, oscillating marine propellers, propellers with adjustable blades, swimming aids.  
*The author declares no conflicts of interest.*

## Известные проблемы лопастных движителей и попытки их решения

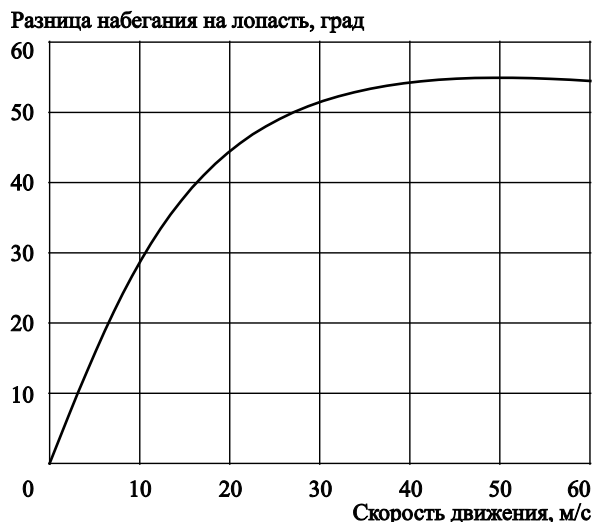
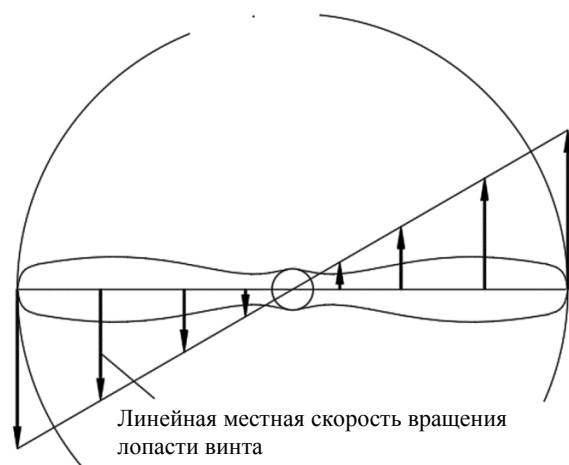
Existing challenges in propeller design and attempts to overcome them

Гребной винт (ГВ) при всех своих преимуществах имеет ограничения в применении, например в снаряжении для подводного плавания, в связи с громоздкостью и сложностью конструкции. На скоростных режимах ГВ имеет проблемы, связанные с кавитацией на лопастях и шумом [1–2]. Впрочем, проблемы с кавитацией имеет и движитель в виде машущего крыла, колеблющегося в профилированной насадке [3].

Дополнительная сложность гребного винта состоит в том, что различным скоростям движения при одной и той же частоте вращения ГВ соответствуют

различные установочные углы лопастей, дающие оптимальные характеристики. Это приводит к необходимости использования винтов изменяемого шага, требующих помимо усложнения собственной конструкции отдельной системы контроля и управления шагом [4–6]. Известные технические решения по автоматическому регулированию установочного шага лопастей винта механизмом его втулки, как правило, используют зависимость инерционных сил от частоты оборотов [7–9], однако для такого авторегулирования приходится мириться с переменной частотой вращения двигателя.

Кроме того, поскольку угол атаки каждого сечения по радиусу лопасти ГВ обусловлен наложением взаимоперпендикулярных скоростей вращения и набегающего потока, потребная разница установочных углов лопасти у комля и у законцовки винта меняется в зависимости от скорости движения, как это по-



**Рис. 1.** Разница углов набегания потока у комля и на краю лопасти винта, вращающегося с частотой 1500 об/мин, зависимости от скорости движения

**Fig. 1.** The difference in flow angles at hub and blade tip of the propeller (RPM = 1500) depending on speed

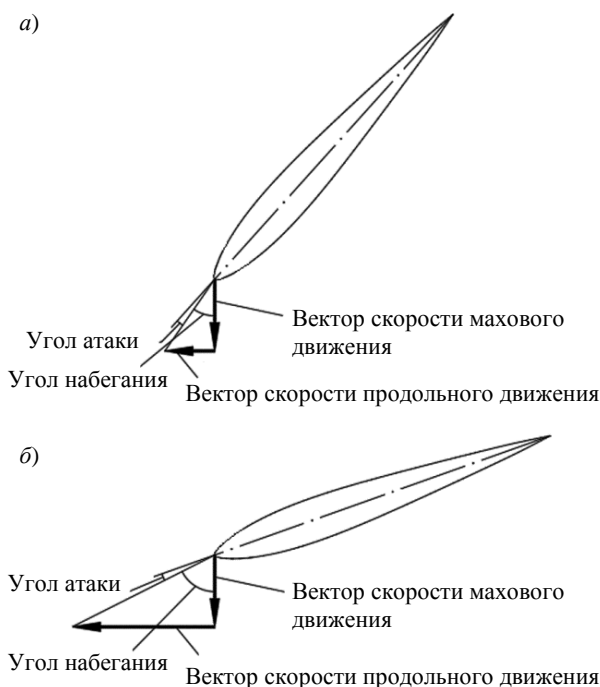
казано на рис. 1. Соответственно, условия обтекания рабочей части винта оказываются оптимальными только при определенной скорости.

Плавниковый движитель, использующийся для подводного и скоростного плавания, менее подвержен кавитации и не имеет присущих винту проблем, вызванных круткой лопастей по радиусу (рис. 1). Однако и он требует изменения установочного угла при изменении скорости движения: на малых скоростях эффективный гребок производится сильно отклоненной несущей плоскостью (лопастью), но по мере увеличения скорости движения угол наклона лопастей должен уменьшаться [10] (рис. 2).

Попытки решить эту проблему при создании плавникового движителя обычно сводятся к установке несущих плоскостей на подпружиненных или упругих рычагах, например, как предложено в изобретениях [11–17] и как используется в ластах торговой марки Scubapro Seawing Nova Fin, или к установке лопастей на оси с ограничителем поворота, как предложено в изобретениях [18–22]. В первом случае при неизменном усилии на ласт пружина дает изгиб на одинаковый угол, во втором – ограничитель устанавливает лопасть также на один и тот же угол, вне зависимости от скорости движения. Т.е. данные технические решения не позволяют сделать плавниковый движитель эффективным на всех эксплуатационных режимах.

Исключением является попытка заставить движущую плоскость стабилизироваться по потоку самостоятельно, как это делает несущая система самолета. Рассмотрим, какие условия необходимо для этого соблюсти. Пусть движитель состоит из двух лопастей, связанных друг с другом, как это показано на схеме рис. 3.

Обозначим точками ЦД1 и ЦД2 центры приложения равнодействующих гидродинамических сил (центры давления) лопастей 1 и 2 соответственно. Для упрощения примем, что профили лопастей симметричны и их центры давления располагаются на линии четверти хорд профилей. На эффективных, достаточно малых углах атаки коэффициент подъемной силы  $C_{ya}$  растет прямо пропорционально



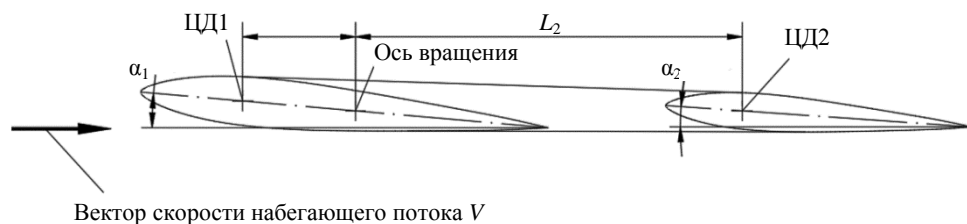
**Рис. 2.** Изменение требуемого углового положения лопасти, совершающей рабочий ход при продольном движении: а) на малой скорости; б) на большой скорости

**Fig. 2.** Change of required angle for the rotating blade performing its translational motion: а) at low speed; б) at high speed

углу атаки  $\alpha$ , в общем случае разном у лопастей 1 и 2 (обозначим его  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно), поэтому  $C_{ya}$  лопастей можно выразить через их производные по углу атаки  $C_{ya}^\alpha$ :  $C_{ya} = C_{ya}^\alpha \cdot \alpha$ . Обозначим также площади лопастей как  $S_1$  и  $S_2$ . Для устойчивого состояния системы необходимо равенство моментов подъемных сил лопастей 1 и 2 относительно оси вращения. При этом надо учитывать снос потока за передней лопастью, который по линейной теории также пропорционален углу атаки и с достаточной степенью приближения может быть учтен

**Рис. 3.** Схема расположения крыльев автостабилизирующейся несущей системы

**Fig. 3.** Foil arrangement in self-stabilizing carrying system



по формуле  $\delta = C_{ya\alpha_1}^\alpha / (\pi \cdot \lambda)$ , где  $\gamma$  – удлинение лопасти  $l$ . Запишем условие равенства моментов:

$$\begin{aligned} S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot \alpha_1 \cdot L_1 &= \\ &= S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya2}^\alpha \cdot \left( \alpha_2 - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot \alpha_1}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2. \end{aligned}$$

После сокращений и очевидных преобразований получим:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{C_{ya2}^\alpha}{C_{ya1}^\alpha} \cdot \left( \alpha_2 - \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} \right).$$

Или для выбора углов при фиксированных плечах  $L_1$  и  $L_2$ :

$$\alpha_2 = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda}. \quad (1)$$

При повороте несущей системы на угол  $\Delta\alpha$  как лопасть 1, так и лопасть 2 получат одинаковое приращение установочного угла атаки, а значит, в выражении  $\frac{\alpha_2 \cdot \Delta\alpha}{\alpha_1 \cdot \Delta\alpha}$  приращения этого угла сократятся и балансировочное отношение останется неизменным.

Итак, для системы из двух лопастей мы можем подобрать  $L_1$  и  $L_2$  так, чтобы лопасти выставились на заданный угол атаки. При этом выбранное положение должно быть устойчивым, т.е. при действии возмущения, увеличившего угол набегания потока на  $\Delta\alpha$ , система должна стремиться уменьшить свой угол атаки, и наоборот, при уменьшении угла набегания система должна стремиться увеличить свой угол атаки. Как этого добиться?

Запишем условие необходимого нам возвращающего к равновесию действия моментов при приращении угла  $\Delta\alpha$  в виде неравенств:

$$\begin{cases} S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 + \Delta\alpha) \cdot L_1 < \\ < S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya2}^\alpha \cdot \left( (\alpha_2 + \Delta\alpha) - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 + \Delta\alpha)}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2 \\ S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha) \cdot L_1 > \\ > S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya2}^\alpha \cdot \left( (\alpha_2 - \Delta\alpha) - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 - \Delta\alpha)}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2 \end{cases}.$$

Сократив и сгруппировав члены, получим:

$$\begin{cases} \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} < \frac{\alpha_2 + \Delta\alpha}{\alpha_1 + \Delta\alpha} \\ \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} > \frac{\alpha_2 - \Delta\alpha}{\alpha_1 - \Delta\alpha} \end{cases}.$$

Но согласно определенному нами ранее условию (1) левая часть неравенств равна  $\alpha_2 / \alpha_1$ , и мы можем записать:

$$\begin{cases} \frac{\alpha_2}{\alpha_1} < \frac{\alpha_2 + \Delta\alpha}{\alpha_1 + \Delta\alpha} \\ \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \frac{\alpha_2 - \Delta\alpha}{\alpha_1 - \Delta\alpha} \end{cases}.$$

Группируя члены и сокращая, получим:  $\alpha_2 < \alpha_1$ . Т.е., чтобы несущая система была статически устойчива, задняя несущая плоскость должна иметь меньший установочный угол, чем передняя. Причем это относится как к разнесенным плоскостям, так и к соединенным в общий S-образный профиль, называемый также автостабильным.

Поскольку движитель с колеблющимися лопастями требует периодической смены направления движения, то для стабилизации на заданном угле атаки лопастям придают возможность менять установочные углы путем перекадки попарно установленных лопастей на противостоящие друг другу ограничители, закрепленные на оси вращения, или доворачивать рабочие лопасти приводом от направляющей, также установленной на шарнире, как предложено в патенте на конструкцию ласт [23]. К сожалению, такие конструкции показали себя слишком сложными и громоздкими для плавания, при этом они не позволяли заходить в воду в ластах и становиться ими на грунт.

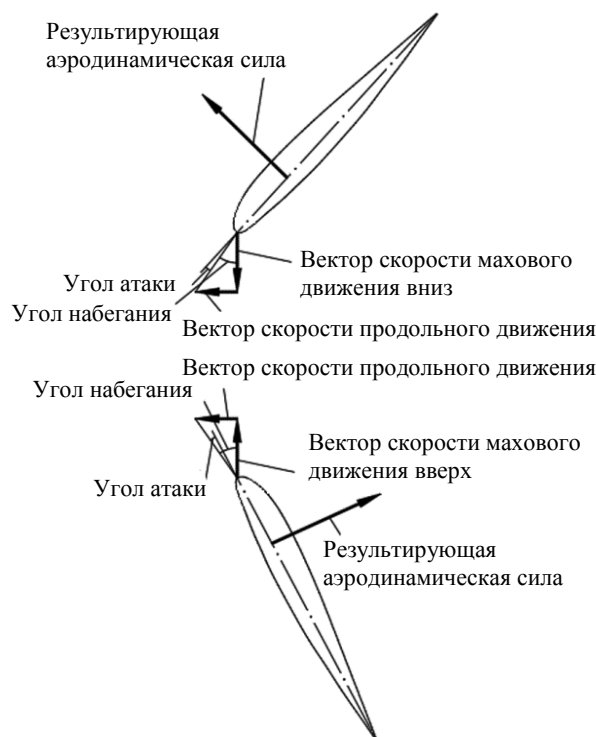
В [24] предложен гребной винт, самостоятельно изменяющий шаг в зависимости от скорости движения и оборотов вала благодаря разделению его по радиусу на два участка – рабочий и направляющий. Действующий подобно флюгеру (поддерживающий околонулевой угол атаки в рабочем режиме) участок лопасти у комля доворачивал рабочий участок у края лопасти на необходимый угол атаки. Однако такое решение приводит к неравномерности скоростного поля за винтом и неполному использованию ометаемой площади, что снижает эффективность движителя.

## Возможности стабилизации лопастного движителя

Ways towards propeller stabilization

Более выгодным представляется самоустановка лопасти винта по мере изменения скорости в промежуточное положение, когда сечения у комля имеют превышающий оптимум угол атаки, а сечения у законцовки работают с несколько заниженным углом, при этом сечения винта конкурируют за выбор установочного угла.

Этого можно достичь только при использовании стабилизирующей поверхности вдоль всей лопасти винта, например в виде автостабильного профиля, или пар лопастей на едином шарнире (X-образный винт с двумя шарнирами, на каждом из которых закреплено по паре ближайших лопастей), при этом для обеспечения стабилизации вторая лопасть в паре должна иметь меньший установочный угол, чем первая. Распределение стабилизирующей поверхности по всему размаху лопасти позволяет,



**Рис. 4.** Направление векторов сил на рабочих ходах колеблющегося лопастного движителя несимметричной тяги

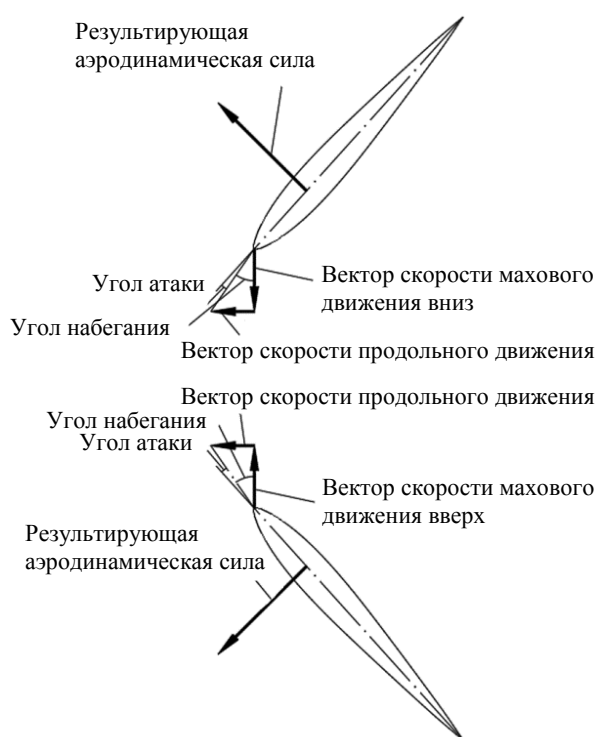
**Fig. 4.** Directions of force vectors at working travels of oscillating propeller with asymmetric thrust

как и в описанном авторском свидетельстве, получать реверс тяги при смене направления вращения. Но для обеспечения реверса без смены направления вращения потребуется применение управляемой стабилизирующей поверхности или винта изменяемого шага с приводом поворота лопастей.

Для судна с колеблющимися подводными крыльями для автостабилизации несущих плоскостей по потоку достаточно устанавливать их на шарниры и использовать автостабильные профили, чтобы получить и тягу, и подъемную силу, как показано на рис. 4.

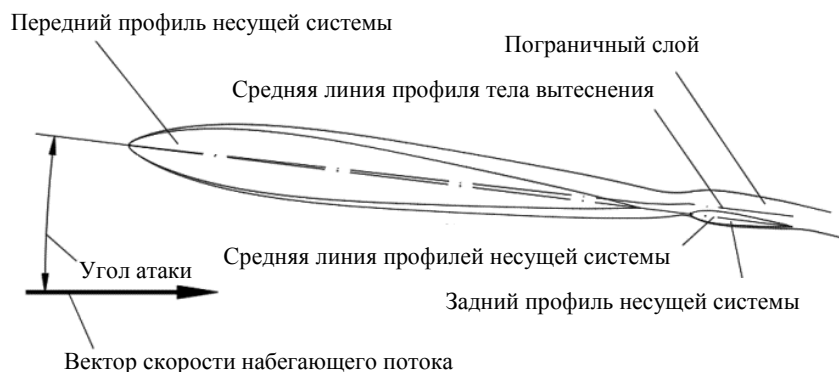
Однако колеблющемуся лопастному движителю типа лапа или аналога гребного винта требуется симметричная знакопеременная боковая сила, как показано на рис. 5.

Поскольку известные технические решения, позволяющие лопастям менять свои установочные углы при каждом махе, проявили себя не лучшим образом, возникает вопрос: можно ли стабилизировать систему несущих элементов так, чтобы их угол



**Рис. 5.** Направление векторов сил на рабочих ходах колеблющегося лопастного движителя симметричной тяги

**Fig. 5.** Directions of force vectors at working travels of oscillating propeller with symmetric thrust



**Рис. 6.** Форма пограничного слоя симметричной несущей системы на положительном угле атаки

**Fig. 6.** Boundary layer of symmetric carrying system at positive attack angle

атаки менял свой знак вслед за сменой направления поперечного движения, а сами несущие элементы оставались неподвижны друг относительно друга? Для ответа обратим внимание на влияние вязкости потока на обтекание системы несущих элементов.

Набегающий поток обтекает не только профили лопастей, но и заторможенный пограничный слой вокруг них. Лопастей, окутанные «налипшим» на них пограничным слоем, образуют для набегающего потока фиктивное тело, или тело вытеснения. На положительных углах атаки толщина пограничного слоя у задней кромки лопасти на верхней поверхности больше, чем на нижней, из-за большего перепада давления.

Дополнительное утолщение сверху пограничный слой получает, перетекая снизу вверх через щель между первой и второй лопастями несущей системы. Поэтому профиль тела вытеснения имеет среднюю линию, немного отклоняющуюся вверх, как у автостабильного аэродинамического профиля, и тем сильнее, чем шире и сильнее разнесены профили несущей системы, чем толще крыловые профили в них используются, чем сильнее смещена

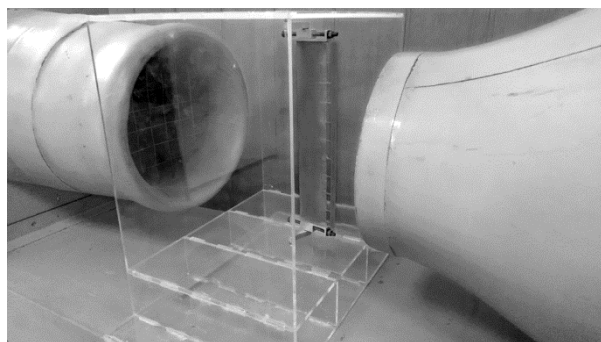
к носу их максимальная толщина и чем больше угол атаки (рис. 6).

Таким образом, два симметричных аэродинамических профиля, установленных друг за другом с нулевым установочным углом, в вязкой среде при правильно выбранной координате оси вращения могут иметь зону устойчивости по углу атаки. При выборе координаты оси вращения меньше или равной координате центра давления первого профиля, система будет флюгироваться на нулевом угле атаки. При выборе координаты оси вращения в центре давления системы она окажется безразличной к углу атаки, и стабилизация окажется невозможной. Соответственно, чтобы стабилизировать систему, нужно выбрать координату оси вращения между указанными крайними точками.

На лабораторной аэродинамической трубе кафедры 101 МАИ экспериментально получена стабилизация модели в виде установленного на шарнире крыла размахом 250 мм с симметричным профилем относительной толщиной 12 %, хордой 50 мм и прикрепленного к крылу сзади на расстоянии 5 мм стабилизатора с профилем такой же относительной толщины и хордой 10 мм, на углах атаки от 9° и выше (рис. 7).

На меньших углах атаки система начинала вести себя нестабильно, периодически переключаясь с положительного угла атаки на отрицательный и обратно. Изменение углов атаки модели достигалось путем смещения ее оси вращения, для чего в экспериментальной установке были предусмотрены сдвижные ложементы.

Итак, мы можем создать колеблющийся лопастной движитель симметричной тяги, используя пару скрепленных друг с другом симметричных крыловых профилей, установленных на оси вращения. Но с таким движителем при смене направления поперечного движения мы получим новую проблему. Разогнавшиеся лопасти в этот момент



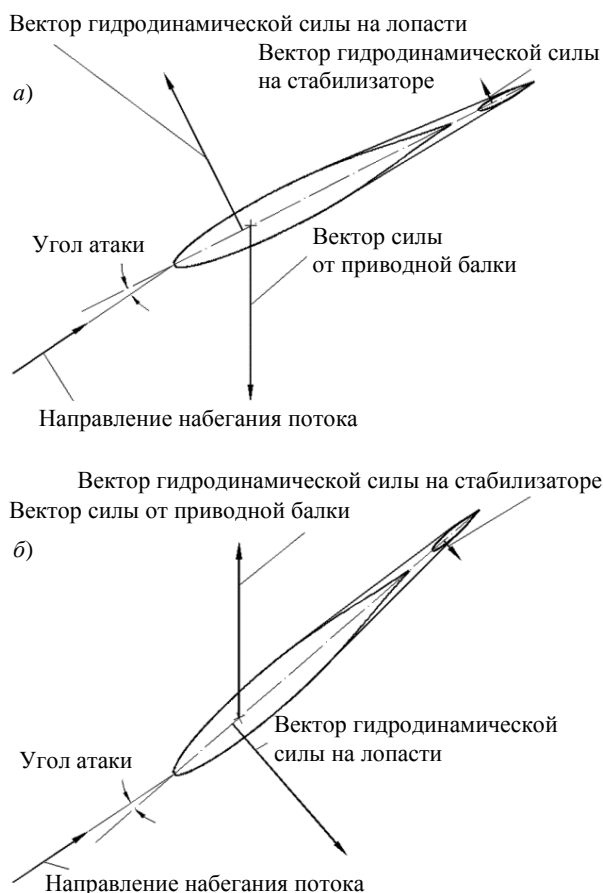
**Рис. 7.** Экспериментальная установка с системой симметричных крыловых профилей

**Fig. 7.** Experimental propeller with symmetric blade system

получают резкую смену направления силы на оси вращения, например с направленной вниз на направленную вверх (рис. 8).

Следуя за сменившимся направлением силы, несущая система перебалансируется на зеркально противоположный относительно направления набегания угол атаки, пытаясь «убежать» от притягивающего движения, упрется (рис. 8б). Как это предотвратить?

Можно в момент «убегания» лопасти переключить ось ее вращения на носик переднего профиля несущей системы. Тогда, удаляясь по инерции от приводного штока или балки, лопасть автоматически повернется на направление набегания

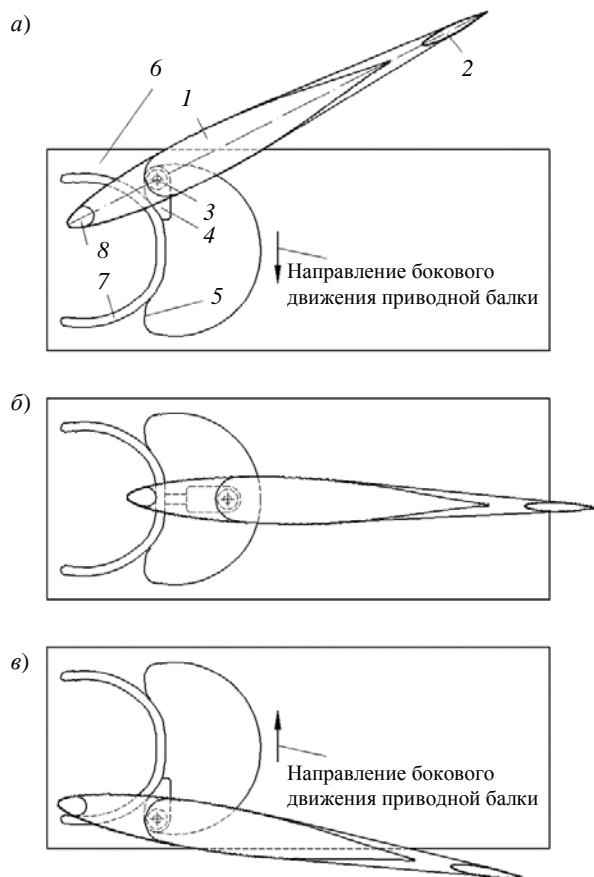


**Рис. 8.** Паразитная перебалансировка лопасти при смене направления поперечного движения: а) стабилизация лопасти при движении вниз; б) паразитная стабилизация лопасти при перекладке вверх

**Fig. 8.** Parasytic rebalancing of blade due to the change of transverse movement direction: a) stabilization of the blade moving down; b) parasytic stabilization of blade moving up

после чего ось вращения можно вернуть на место. Технически это можно реализовать следующим образом (рис. 9).

Лопать 1 с жестко закрепленным на ней стабилизирующим крыловым элементом 2 имеет возможность свободно вращаться на оси 3 водила 4, качающегося на оси или гибком звене внутри паза 5 приводной балки 6 (рис. 9а). На приводной балке выполнена направляющая 7, ограничивающая угловое положение лопасти в крайних положениях и при проходе лопасти через плоскость симметрии посредством зацепления с ответным элементом



**Рис. 9.** Схема действия механизма предотвращения паразитной перебалансировки лопасти при смене направления поперечного движения: а) водило в положении верхнего упора; б) водило в промежуточном положении при прохождении плоскости симметрии; в) водило в положении нижнего упора

**Fig. 9.** Operation of the mechanism preventing parasytic blade rebalancing in case of transverse movement direction change: a) steering arm in the uppermost position; b) steering arm in the intermediate position (passing the plane of symmetry); c) steering arm in the lowermost position

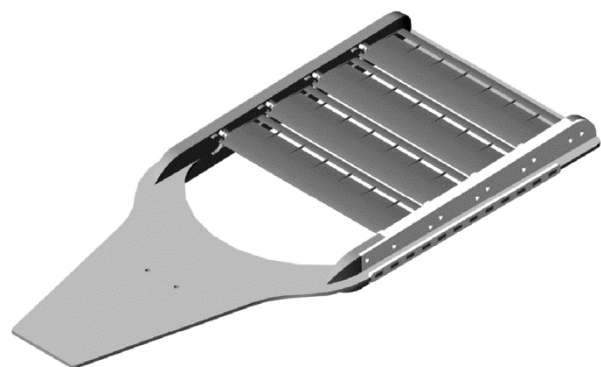


**Рис. 10.** Внешний вид экспериментальных ласт с самостабилизирующимися лопастями

**Fig. 10.** General view of experimental flipper with self-stabilizing blades

(в данном случае кулачком) лопасти 8. На рис. 9а показана лопасть в тяговом режиме на самостоятельно выбранном угле атаки, а на рис. 9б и 9в угловое положение лопасти ограничивается направляющей.

При боковом движении приводной балки лопасть стремится в противоположном направлении и вперед, увлекая за собой водило, пока оно не ложится на упор паза. Лежа на упоре паза, водило передает тягу лопасти на приводную балку. При смене направления движения лопасть увлекается в противоположном направлении, снимает водило с упора и ведет его через плоскость симметрии на противоположный упор. При проходе плоскости симметрии направляющая подхватывает носик лопасти, переводя ее на нулевой угол



**Рис. 11.** Внешний вид лопасти ласты с самостабилизирующимися лопастями

**Fig. 11.** General view of the flipper with self-stabilizing blades

атаки, после чего дает лопасти возможность самостановиться на новом рабочем угле атаки и передать тягу на приводную балку после фиксации водила на противоположном упоре.

Однако возникает вопрос: насколько применимо такое техническое решение в действительности? Ведь на колеблющиеся лопасти действуют также силы инерционного характера как самих несущих поверхностей, так и присоединенных масс, а также упругие силы от шарниров водил (при использовании в этих шарнирах упругих звеньев, удерживающих лопасти в нейтральной позиции без нагрузки). Для проверки применимости описанного решения был изготовлен натурный образец ласт, в котором самостабилизирующиеся лопасти установили на механизмах предотвращения паразитной перебалансировки (рис. 10–11).

Испытания<sup>1</sup> показали, что экспериментальный движитель работает должным образом, показывая существенный прирост пропульсивных качеств по сравнению с обычными ластами. Однако выявлены проблемы с прочностью пластика для 3D-печати по технологии SLA, из которого были изготовлены лопасти. Гладкая и точная поверхность деталей сопровождалась их ломкостью, что приводило к обламыванию кулачков лопастей под сильной нагрузкой. Также значительные изгибающие гидродинамические силы, действующие на лопасти, потребовали их усиления углепластиковыми лонжеронами. Изготовление лопастей из более прочного литого пластика позволит решить эти проблемы.

## Возможные области применения самостабилизирующегося лопастного движителя

Possible applications for self-stabilizing propulsor

Предложенное техническое решение может оказаться эффективным как для привода судов, в т.ч. на подводных крыльях, так и в подводном снаряжении ныряльщиков, например в ластах. На рис. 11 галоша ласта условно не показана, упругость гибких звеньев водил подобрана таким образом, чтобы лопасти без нагрузки не провисали.

Подводные крылья (гидроfoilы) также применяются в водном спорте, например в серфинге. Одним из способов поддержания движения спортив-

<sup>1</sup> Видео испытаний экспериментальных ласт в бассейне: <https://rutube.ru/video/915ccb623f42be809247a103239f5bce>.



ного снаряда на гидрофойле является т.н. пампинг, когда спортсмен стоит на борде, периодически приседая, при этом перенося вес вначале на переднюю, а затем на заднюю ногу.

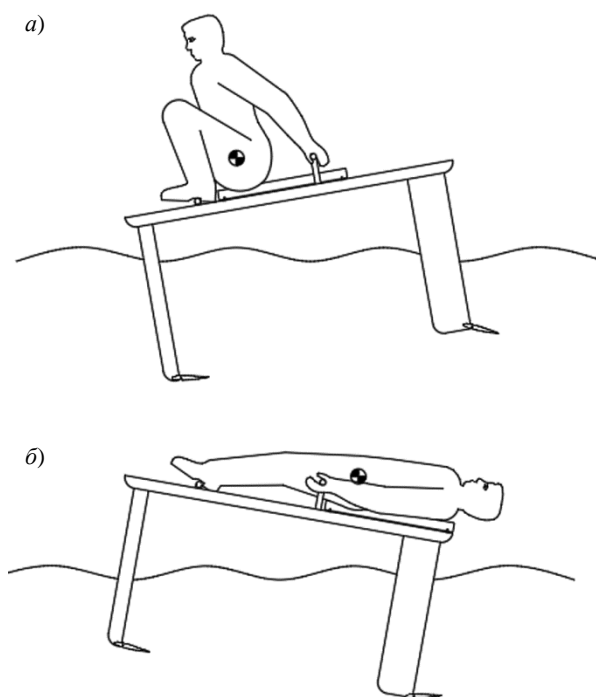
Однако в известных конструкциях крылья закреплены на борде, лыжах или другом плавательном средстве неподвижно (например, патенты [25–33]), поэтому стартовать с помощью пампинга невозможно, нужно предварительно разогнать борд. Кроме того, поддержание необходимой скорости на таком спортивном снаряде требует серьезных усилий, и человек, приседая, быстро устает. Устранить описанные проблемы может использование двух подводных крыльев с автостабильным профилем, шарнирно связанных с передней и задней стойками борда (рис. 12).

Тогда, перенося вес с передней стойки на заднюю, стоя либо сидя, как показано на рис. 12, спортсмен может попеременно поднимать и опускать крылья, автоматически выставляющиеся на оптимальный угол атаки, и длительно поддерживать требующуюся для движения на крыльях скорость.

Тот же принцип попеременного поднимания и опускания по меньшей мере одного шарнирно закрепленного крыла может способствовать совместному получению подъемной силы и тяги для любых плавательных средств с подводным крылом (гидрофойлом), в т.ч. с моторным приводом.

## Список использованной литературы

1. Русецкий А.А. Движители судов с динамическими принципами поддержания. Ленинград : Судостроение, 1979. 239 с.
2. Пустошный А.В., Коваль А.А. О методиках прогнозирования шума гребных винтов транспортных судов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2021. Вып. 2(396). С. 13–36. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-2-396-13-36.
3. Храмушин В.Н. Гидромеханика крыла и плавника (обзор инженерных решений нестационарной гидромеханики) : [препринт] // ResearchGate : [сайт]. [S. 1.], 2019. 52 с. DOI: 10.13140/RG.2.2.28089.52327.
4. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Смирнов В.П. Судовые гребные винты регулируемого шага (ВРШ). Конструкции, эксплуатация, ремонт. Одесса : Негоциант, 2007. 260 с.
5. Вишневецкий Л.И., Половинкин В.Н., Тогуняц А.Р. Винты изменяемого шага: основные результаты и направления исследований // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. Вып. 2(388). С. 11–23. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-2-388-11-23.
6. Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р. Корабельные лопастные движители: новые технические решения, результаты исследований. Санкт-Петербург : Судостроение, 2012. 250, [2] с.
7. Тогуняц А.Р., Печенюк А.В., Вишневецкий Л.И. Совершенствование ходкости скоростных судов путем использования винтов с подвижным креплением лопастей на ступице // Труды международной конференции FAST'2005. Санкт-Петербург, 2005. С. 521–526.
8. Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р. Гидродинамика корабельных лопастных движителей: инновационные решения. Санкт-Петербург : Реноме, 2020. 240, [3] с.
9. Автоматические воздушные винты. Москва : Оборонгиз, 1941. 324 с.
10. Картузов Е.И. Оптимизация пропульсивных систем с крыльевыми элементами : дис. ... д-ра техн. наук : 01.02.05 / С.-Петерб. гос. мор. техн. ун-т. Санкт-Петербург, 2000. 313 с.
11. Swimming flipper : pat. 6290561 United States / G. Garofalo, M. Viale. No. 09/790707; Appl. 23.02.2001; publ. 18.09.2001. 6 p.



**Рис. 12.** Возможное применение шарнирно закрепленных подводных крыльев на спортивном плавательном средстве: а) движение при смещении центра тяжести вперед; б) движение при смещении центра тяжести назад

**Fig. 12.** Possible application of hinged hydrofoils for a sports watercraft: a) movement as CG shifts forward; b) movement as CG shifts back

12. High efficiency hydrofoil and swim fin designs : pat. 5746631 United States / *P.T. McCarthy*. No. 583973; Appl. 11.01.1996; publ. 05.05.1998. 57 p.
13. Swim fin having multiple articulating transverse hydrofoil blades : pat. 4944703 United States / *A.R. Mosier*. No. 180155; Appl. 11.04.1988; publ. 31.07.1990. 10 p.
14. Swim fin with hinged, spring-biased blade displaced from toe of foot pocket: pat. 4767368 United States / *S.S. Ciccotelli*. No. 115660; Appl. 27.10.1987; publ. 30.08.1988. 7 p.
15. Method of and device for propulsion : pat. 4178128 United States / *C.A. Gongwer*. No. 795384; Appl. 10.05.1977; publ. 11.12.1979. 4 p.
16. Swimmer's propulsion device : pat. 3122759 United States / *C.A. Gongwer*. No. 88554; Appl. 10.02.1961; publ. 03.03.1964. 4 p.
17. Ласт : пат. 2075320 Рос. Федерация / *М.С. Толчинский*. № 94028285/12; заявл. 14.03.1994; опубли. 20.03.1997. 13 с.
18. Swimming aid : pat. 3084355 United States / *S.S. Ciccotelli*. No. 180953; Appl. 20.03.1962; publ. 09.04.1963. 4 p.
19. Swim fin : pat. 3411165 United States / *F.N. Murdoch*. No. 601233; Appl. 12.12.1966; publ. 19.11.1968. 3 p.
20. Swimming aid : pat. 3426722 United States / *N. Dragich*. No. 689656; Appl. 11.12.1967; publ. 11.02.1969. 3 p.
21. Swim fin : pat. 4209866 United States / *Herbert H. Loeffler*. No. 947459; Appl. 02.10.1978; publ. 01.07.1980. 6 p.
22. Swim fin provided with a self-shaping, fluid flow conveying and controlling canal-like member : pat. 4738645 United States / *G. Garofalo*. No. 870383; Appl. 04.07.1986; publ. 19.04.1988. 11 p.
23. Swim fin with self-adjusting hydrofoil blades : pat. 5536190 United States / *C.L. Althen*. No. 519467; Appl. 25.08.1995; publ. 16.07.1996. 12 p.
24. Гребной винт изменяемого шага : А.с. 146201 СССР / *В.В. Боднар-Соловьев*. № 687708/27; заявл. 01.12.1960; опубли., Бюл. № 7. 2 с.
25. Water ski : pat. 3121890 United States / *J.F. Jr. Rumsey*. No. 135480; Appl. 01.01.1961; publ. 25.02.1964. 4 p.
26. Hydrofoil lift : pat. 3164119 United States / *L.L. Emmanuel, W.R. Woodward*. No. 268352; Appl. 26.03.1963; publ. 05.01.1965. 6 p.
27. Hydrofoil board : pat. 3604031 United States / *M.J. Cahill, E.G. La Casse*. No. 802032; Appl. 25.02.1969; publ. 14.09.1971. 3 p.
28. Hydrofoil surfboards : pat. 3747138 United States / *D.R. Morgan*. No. 83993; Appl. 26.10.1970; publ. 24.07.1973. 8 p.
29. Actuating mechanism for thumbwheel type switch : pat. 3182141 United States / *J.C. Koci, S.M. Heide, H. Alfred*. No. 297568; Appl. 25.07.1963; publ. 04.05.1965. 4 p.
30. Water ski hydrofoil : pat. 2751612 United States / *S. Harwood*. No. 413199; Appl. 01.03.1954; publ. 26.07.1956. 4 p.
31. Hydrofoil surfing board : pat. 7144285 United States / *T.J. Hendricks*. No. 10/891280; Appl. 14.07.2004; publ. 05.12.2006. 27 p.
32. Water sports device : pat. 5249998 United States / *R.C. Woolley, M.J. Murphy*. No. 778395; Appl. 16.10.1991; publ. 05.10.1993. 13 p.
33. Flying ski : pat. 20050255764 United States / *R. Woolley*. No. 11/129944; Appl. 16.05.2005; publ. 17.11.2005. 55 p.

## References

1. *Rusetsky A.A.* Propulsion of dynamically supported craft. Leningrad : Sudostroyeniye, 1979. 239 p. (in Russian).
2. *Pustoshny A.V., Koval A.A.* Prediction methods for propeller noise of cargo carriers // Transactions of Krylov State Research Centre. 2021. Vol. 2(396). P. 13–36. DOI: 10.24937/2542-2324-2021-2-396-13-36 (in Russian).
3. *Khramushin V.N.* Foil and fin hydromechanics. Review of engineering solutions in unsteady hydro-mechanics. Pre-print // Researchgate : [site]. [S.1], 2019. 52 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.28089.52327 (in Russian).
4. *Kornilov E.V., Boyko P.V., Smirnov V.P.* Marine controllable-pitch propellers (CPPs): design, operation and repair. Odessa : Negotsiant, 2007. 260 p. (in Russian).
5. *Vishnevsky L.I., Polovinkin V.N., Togunyats A.R.* Adaptive-pitch propellers: main results and direction of studies // Transactions of Krylov State Research Centre. 2019. Vol. 2(388). P. 11–23. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-2-388-11-23 (in Russian).
6. *Vishnevsky L.I., Togunyats A.R.* Marine propellers. New technical solutions, results of studies. St. Petersburg : Sudostroyeniye, 2012. 250, [2] p. (in Russian).
7. *Togunyats A.R., Pechenyuk A.V., Vishnevsky L.I.* Improving propulsion performance of fast craft with controllable-pitch propellers // Transactions of FAST-2005 international conference. St. Petersburg, 2005. P. 521–526 (in Russian).
8. *Vishnevsky L.I., Togunyats A.R.* Hydrodynamics of marine propellers: innovative solutions. St. Petersburg : Renome, 2020. 240 [3] p. (in Russian).
9. Automatic aircraft propellers. Moscow : Oborongiz, 1941. 324 p. (in Russian).
10. *Kartuzov Ye.I.* Optimization of foil-based propulsion systems : Dr. Sci. theses : 01.02.05 / *Ye.I. Kartuzov*; St. Petersburg State Marine Technical University. St. Petersburg, 2000. 313 p. (in Russian).

11. Swimming flipper : pat. 6290561 United States / *G. Garofalo, M. Viale*. No. 09/790707; Appl. 23.02.2001; publ. 18.09.2001. 6 p.
12. High efficiency hydrofoil and swim fin designs : pat. 5746631 United States / *P.T. McCarthy*. No. 583973; Appl. 11.01.1996; publ. 05.05.1998. 57 p.
13. Swim fin having multiple articulating transverse hydrofoil blades : pat. 4944703 United States / *A.R. Mosier*. No. 180155; Appl. 11.04.1988; publ. 31.07.1990. 10 p.
14. Swim fin with hinged, spring-biased blade displaced from toe of foot pocket: pat. 4767368 United States / *S.S. Ciccotelli*. No. 115660; Appl. 27.10.1987; publ. 30.08.1988. 7 p.
15. Method of and device for propulsion : pat. 4178128 United States / *C.A. Gongwer*. No. 795384; Appl. 10.05.1977; publ. 11.12.1979. 4 p.
16. Swimmer's propulsion device : pat. 3122759 United States / *C.A. Gongwer*. No. 88554; Appl. 10.02.1961; publ. 03.03.1964. 4 p.
17. Flipper : pat. 2075320 Russian Federation / *M.S. Tolchinsky*. No. 94028285/12; Appl. 14.03.1994; publ. 20.03.1997. 13 p. (*in Russian*).
18. Swimming aid : pat. 3084355 United States / *S.S. Ciccotelli*. No. 180953; Appl. 20.03.1962; publ. 09.04.1963. 4 p.
19. Swim fin : pat. 3411165 United States / *F.N. Murdoch*. No. 601233; Appl. 12.12.1966; publ. 19.11.1968. 3 p.
20. Swimming aid : pat. 3426722 United States / *N. Dragich*. No. 689656; Appl. 11.12.1967; publ. 11.02.1969. 3 p.
21. Swim fin : pat. 4209866 United States / *Herbert H. Loeffler*. No. 947459; Appl. 02.10.1978; publ. 01.07.1980. 6 p.
22. Swim fin provided with a self-shaping, fluid flow conveying and controlling canal-like member : pat. 4738645 United States / *G. Garofalo*. No. 870383; Appl. 04.07.1986; publ. 19.04.1988. 11 p.
23. Swim fin with self-adjusting hydrofoil blades : pat. 5536190 United States / *C.L. Althen*. No. 519467; Appl. 25.08.1995; publ. 16.07.1996. 12 p.
24. Variable-pitch propeller : A.S. 146201 USSR / *V.V. Bodnar-Solovyev*. No. 687708/27; Appl. 01.12.1960; publ. Bull. No. 7. 2 p. (*in Russian*).
25. Water ski : pat. 3121890 United States / *J.F. Jr. Rumsey*. No. 135480; Appl. 01.01.1961; publ. 25.02.1964. 4 p.
26. Hydrofoil lift : pat. 3164119 United States / *L.L. Emmanuel, W.R. Woodward*. No. 268352; Appl. 26.03.1963; publ. 05.01.1965. 6 p.
27. Hydrofoil board : pat. 3604031 United States / *M.J. Cahill, E.G. La Casse*. No. 802032; Appl. 25.02.1969; publ. 14.09.1971. 3 p.
28. Hydrofoil surfboards : pat. 3747138 United States / *D.R. Morgan*. No. 83993; Appl. 26.10.1970; publ. 24.07.1973. 8 p.
29. Actuating mechanism for thumbwheel type switch : pat. 3182141 United States / *J.C. Koci, S.M. Heide, H. Alfred*. No. 297568; Appl. 25.07.1963; publ. 04.05.1965. 4 p.
30. Water ski hydrofoil : pat. 2751612 United States / *S. Harwood*. No. 413199; Appl. 01.03.1954; publ. 26.07.1956. 4 p.
31. Hydrofoil surfing board : pat. 7144285 United States / *T.J. Hendricks*. No. 10/891280; Appl. 14.07.2004; publ. 05.12.2006. 27 p.
32. Water sports device : pat. 5249998 United States / *R.C. Woolley, M.J. Murphy*. No. 778395; Appl. 16.10.1991; publ. 05.10.1993. 13 p.
33. Flying ski : pat. 20050255764 United States / *R. Woolley*. No. 11/129944; Appl. 16.05.2005; publ. 17.11.2005. 55 p.

---

#### Сведения об авторе

*Юрий Витальевич Швед*, старший преподаватель кафедры проектирования и сертификации авиационной техники, Московский авиационный институт. Адрес: 125993, Россия, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4. E-mail: yuriy-shved@mail.ru.

#### About the author

*Yury V. Shved*, Senior Lecturer, Aircraft Design and Certification Department, Moscow Aviation Institute. Address: 4, Volokolamskoye sh., GSP-3, A-80, Moscow, Russia, post code 125993. E-mail: yuriy-shved@mail.ru.

Поступила / Received: 20.12.22  
Принята в печать / Accepted: 03.02.23  
© Швед Ю.В., 2023