

Глиссирование – что же это такое?

На разнообразных интернет-форумах, посвященных любительской малотоннажке, то и дело разгораются дискуссии – были ли достигнут режим глиссирования у конкретной лодки с конкретными мотором и винтом или нет. Казалось бы, любой водномоторник способен почувствовать момент «взлета» лодки, когда брызговая струя уходит в корму, а мотор переходит с натужного рева на веселое пение (рис. 1). Вопрос разграничения режимов достаточно «разжеван» в популярных книгах по судостроению и профильных журналах. Специалисты подробно рассказали и про «горб» сопротивления, и про изменение посадки корпуса при переходе от плавания к переходному режиму и далее – к глиссированию.

Но вот в чем беда: практики, привыкшие оперировать простыми измеряемыми величинами вроде скорости, мощности, нагрузки и пребывающие в наиболее употребительных границах параметров своих корпусов, склонны распространять свой опыт на любые корпуса и не следят за деталями, критически важными при вынесения вердикта «глиссирует – не глиссирует». А ведь известно, что корпуса с удлинением $L/B > 5$, например катамараны, ведут себя совсем иначе, чем массовые лодки с их $L/B = 2.5-3.5$ (рис. 2). У яхтсменов еще сложнее – в их органолептику вмешивается влияние неизбежного волнения, неопределенна мощность парусного «привода» и нет «подсказки» от мотора, чувствующего облегчение при переходе на новый режим.

Спорящие начинают оперировать неочевидными аргументами, заходит речь об «особых» проявлениях этого режима у надувных и парусных, спор запутывается, и в итоге каждый остается при своем мнении. Для поиска истины стоит углубиться в суть явления и попытаться выделить прин-

Алексей Даняев Популяризация судостроительной науки, на чьей ниве более полувека трудится и «Кия», сделала свое дело – широкие массы яхтсменов и водномоторников охотно оперируют терминами, в полной мере доступными, казалось бы, только специалистам, такими как «центр давлений», «число Фруда», «режим движения». Заметим, что за рубежами России такими вещами даже профильный журналист владеет далеко не всякий. Но все ли мы подразумеваем за терминами одни и те же понятия?



Рис. 1. Тяжелый килеватый катер на крейсерском ходу. Наблюдаются все признаки режима глиссирования, но какую долю веса судна при этом поддерживает гидродинамика, а какую – архимедова сила? Непростой вопрос

ципиальные вещи, характеризующие наступление глиссирования как физического явления.

Баланс сил поддержания

Первое желание современного человека – обратиться к всезнающей Сети. «Википедия» охотно сообщает: «Глиссирование – это движение по воде, при котором предмет удерживается на ее поверхности только за счет скоростного напора воды...». Отметим слово «только»: оно подразумевает, что при «настоящем» глиссировании вытесненный корпусом объем воды стремится к нулю. Фактически, это определение заимствовано из сверхпопулярной у нас книги Хуана Баадера «Разъездные, туристские и спортивные катера». Баадер приводит богатую аргументацию, справедливо отмечает непрерывный характер переходов от режима к режиму, но оперирует условным коэффициентом скорости, связанным исключительно с длиной корпуса, и употребляя при этом фатальное словечко «только», затемняет суть явления. Если с ростом скорости динамические силы растут постепенно, а статические не исчезают совсем (это Баадер также отмечает – ведь вытесненный объем воды наблюдается даже при малом погружении тела) – как можно впасть в подобный максимализм? Длина и скорость – не единственные данные для вынесения решения, особенно у экстремальных корпусов – сверхлегких либо сильно удлиненных.

Обратимся к более строгим источникам. Справочник по малотоннажному судостроению под ред. Б. Г. Мордвинова 1987 г. отсылает к классикам ЦАГИ, которые отмечают: начало режима глиссирования определяет число Фруда по водоизмещению (напомним, $Fr_D = v/\sqrt{g \cdot 3 \cdot D}$), и он наступает при $Fr_D > 3$, а при $Fr_D > 5$ «гидростатическая составляющая практически исчезает». Это уже лучше, привязываемся к скорости и массе. Итак, какова мера этого «практически»?

Д. Савицкий в своей классической работе [1] дает удобную для расчета методику определения по-

садки призматического глиссирующего корпуса в широком диапазоне скоростей, нагрузок и углов килеватости. Вычислим с ее помощью погруженный объем для призматического корпуса условной длиной 5 м при нескольких значениях ширины, килеватости, нагрузках и скоростях, соответствующих $Fr_D = 2...7$ (табл. 1).

Как видно, с ростом скорости доля гидростатики везде плавно уменьшается с полных 100% при $Fr_D = 2$ до 10–30% при $Fr_D = 5...7$. Видим также,

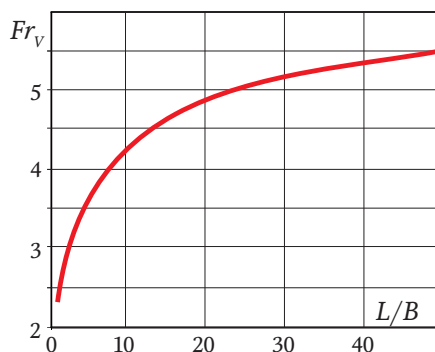


Рис. 2. Установленная зависимость скорости начала глиссирования от удлинения корпуса. Следовало бы просчитать подобную зависимость и от угла килеватости

что гидростатика «практически исчезает», достигая менее 10% водоизмещения, только у плоскодонных корпусов – для них и выполняются назначенные справочником границы режимов. У килеватых груженых корпусов доля гидростатики при граничном $Fr_D = 3$ составляет верную половину водоизмещения, и

она имеет тенденцию расти с увеличением килеватости до 2/3! А узкий «поплавок» большого удлинения и при $Fr_D = 5$ «водоизмещает» примерно наполовину. Вот вам и «только» гидродинамическое поддержание...

Выходит, при одних и тех же Fr_D корпуса, отличающиеся по удлинению, килеватости, степени нагруженности, проявят разное соотношение между силами динамического и архимедова поддержания, и доля гидростатики в этом соотношении вовсе не так мала, чтобы назначить признаком выхода на глиссирование фиксированные числа Фруда.

Итак, в качестве промежуточного результата рассуждений можем зафиксировать, что определение режима глиссирования стоит скорректировать так: «это режим движения по воде, при котором тело удерживается на ее поверхности в большей степени за счет скоростного напора воды». Примем для определенности, что доля динамических сил более 50% потянет на «большую степень». Хотя ученые рекомендуют норму 75–80%, мы видим, что граница достижения такого соотношения для средне- и высококилеватых корпусов будет сдвинута в сторону значительно более высоких скоростей, чем это принято считать.

Визуальные признаки

Обнаружив, что корпуса, которые мы считаем глиссирующими, на самом деле остаются в большой степени во-

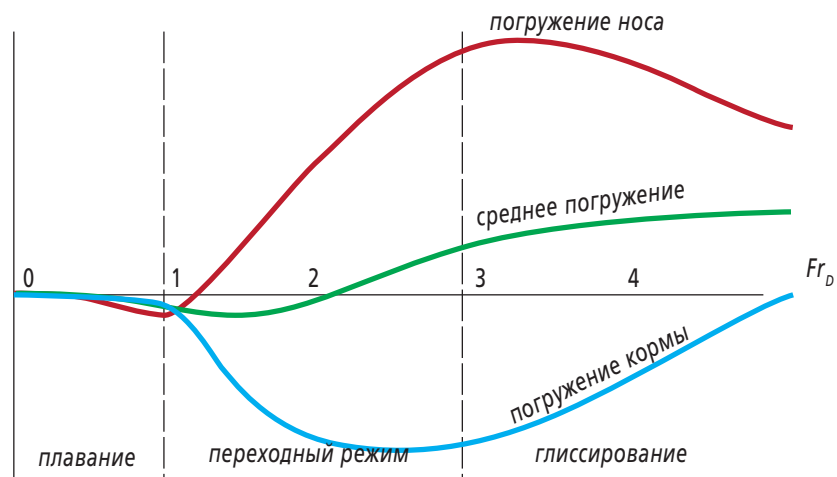


Рис. 3. Хорошо известная зависимость посадки корпуса от его скорости. При $Fr_D > 2$ корпус начинает подвсплывать, а при $Fr_D = 3$ дифферент максимален

Табл. 1. Посадка корпуса и доля гидростатической составляющей в силе поддержания глиссирующих корпусов с различной геометрией и при разных нагрузках (расчет по Савицкому)

Скорость, м/с	Fr_D	Дифферент, град.	Доля гидростатики, %
Норм. нагружен. корпус, $D=1000$ кг, $B=1.6$ м, $Xg=2$ м, $\beta=0^\circ$			
6.25	2	4.68	89
9.4	3	3.55	46
12.5	4	2.42	28
15.7	5	1.7	18
18.8	6	1.27	13
21.9	7	0.98	10
То же, при килеватости $\beta=15^\circ$			
6.25	2	5.56	124*
9.4	3	4.51	66
12.5	4	3.29	33
15.7	5	**	**
Легкая плоскодонка, $D=200$ кг, $B=1.9$ м, $Xg=1.6$ м, $\beta=0^\circ$			
5	2	1.63	21
7.2	3	1.2	11
9.6	4	0.81	7
Узкий килеватый поплавок, $D=1000$ кг, $B=0.8$ м, $Xg=2$ м, $\beta=15^\circ$			
6.25	2	6.26	117*
9.4	3	7.27	84
12.5	4	6.18	59
15.7	5	4.85	44
18.8	6	3.86	36

* Доля гидростатики здесь превышает 100% отчасти из-за погрешности метода, отчасти из-за известного эффекта «подсасывания» корпуса на малом ходу (заметен на рис. 3)

** При этой скорости корпус «выходит на треугольник» – режим, который нельзя считать устойчивым

доизмещающими, рассмотрим некоторые важные признаки, упоминаемые классиками в качестве критериев наступления режима.

Во-первых, в конце переходного режима, когда динамические силы значительны, меняется посадка судна. Оно подвсплывает (естественно), и угол дифферента, возросший с ростом скорости, далее начинает уменьшаться. Это хорошо видно по многократно воспроизведенному в литературе графику (рис. 3; он, видимо, относится к плоским пластинам). На $Fr_D = 3$ там приходится момент максимального дифферента. Казалось бы, самый «горб», но нет, это уже граница режима.

Во-вторых, когда развивающиеся динамические давления сильны

и начинают превосходить гидростатические (проф. Г. Е. Павленко даже отмечает особую роль Fr_D как критерия соотношения этих давлений, [2]), должна меняться также и картина обтекания корпуса. Динамические эффекты от растекающихся к скулам потоков порождают брызговые «усы», причем положительные динамические давления развиваются по всей длине корпуса. Гидродинамики называют такой режим обтекания днища струйным. Если заглянуть под борт идущего на режиме глиссера, можно увидеть, что у него поток срывается со скулы чисто, без замыва борта (это видно рис. 1) – это явное свидетельство превосходства сил динамики над статическими давлениями.

Рис. 4. Корпус Лобынцева переходит через «горб», дифференцируется и оголяет скулу, при этом под водой скрывается более половины его водоизмещения – он не глиссирует



Рис. 5. Скоростной катамаран активно режет воду, но сидит глубоко – он не глиссирует



Впрочем, нетрудно смоделировать ситуацию, когда указанные визуальные признаки струйного обтекания будут наблюдаться, а корпус будет почти стопроцентно поддерживаться гидростатикой – например у сильно удлиненных и глубоко погруженных корпусов катамаранов (рис. 5). Как показывают исследования, при килеватостях днища выше $30-40^\circ$ динамическая подъемная сила просто не развивается в достаточной степени. Будет ли такой режим называться глиссированием? Скорее всего, нет – для него есть специальное название «скоростной водоизмещающий режим», его демонстрируют «волнопронзающие» корпуса. Для высоких удлинений L/B граница начала глиссирования

ния сдвинута в область значительно более высоких чисел Фруда, как это было видно на рис. 2. Похожим образом соскальзывают с волны и килевые яхты с широкими корпусами: форштевень активно рассекает воду, поток срывается с транца, но погруженный объем по-прежнему велик и едва ли сможет уменьшиться до половины водоизмещения. Другое дело швертботы или парусные доски – они имеют все шансы выхода на «правильное» глиссирование, но при условии достаточной скорости хода.

С другой стороны, относительно большие и легкие малокилеватые корпуса под малой нагрузкой способны проявить все основные признаки глиссирования – подвсплытие, разгон за «горб» (очень слабо выраженный в этом случае), уход брызговой струи под скулу, и даже расчет их гидростатики (табл. 1) показывает 90-процентную долю гидродинамики в поддержании – прямо по академическому учебнику. Мы отмечали это явление при тестировании крупных надувных лодок под мало-мощными моторами налегке. И здесь нельзя отказать им в соответствии основному определению режима, хотя условие чистого отрыва потока у надувных может по разным частным причинам и не выполняться – баллон круглый, вода к нему «подли-

пает», да и присущая ему продольная нежесткость портит картину брызгообразования.

И то, и это...

Подходим к развязке. Есть смысл утверждать, что режим глиссирования – это не та вещь, которая подобна хвосту ослика – «либо есть, либо ее нет», это *синдром*, сочетание нескольких явлений, которые могут наступать не одновременно. Часть из них наблюдаема – опускание носа по мере разгона, отрыв потока от скулы, но принципиально важно выполнение ключевого условия – подвсплытия, ведущего к уменьшению погруженного объема не менее чем вдвое и снижению доли волнового сопротивления. Причем мотор не обязательно «скажет» вам об этом ростом частоты вращения, поскольку бывают ситуации, когда «горб» сопротивления не выражен, как у удлиненных или малонагруженных корпусов – с ними мотор не сможет «вольно вздохнуть» после разгона. Или вот дизельные двигатели, скажем, малочувствительны к нагрузке, всегда ровно молотят на заданных оборотах.

На практике для обычных малокилеватых корпусов с приводом гребным винтом выработано простое правило: для успешного выхода на глиссирование энерговоору-

женность должна составлять не менее 30–35 л.с. на тонну водоизмещения, или в более привычном виде – не более 30 кг водоизмещения на одну «силу» подведенной мощности. В свете изложенных выше соображений невозможно утверждать наверняка, что это правило будет выполняться для любой лодки независимо от типа корпуса, тем более от типа привода. Возможно, малонагруженные плоскодонки проявят основные признаки выхода на режим уже при 20 л.с./т, а экстремальные многокорпусные волнопронзатели не оторвутся толком от воды и при 40–45 л.с./т – каждый нетиповой случай стоит рассматривать детально и «живьем».

Так что ради истины не торопитесь с выводами, измеряйте скорость, водоизмещение и осадку транцем, считайте число Фруда, учитывайте удлинение и килеватость корпуса, внимательно наблюдайте и «проговаривайте» детали – только так удастся отличить «настоящее» глиссирование от сливающегося с ним последней стадии переходного режима.

Литература:

1. Savitsky Daniel. *Hydrodynamic Design of Planing Hulls // Marine Technology, vol.1, №1, 1964.*
2. Павленко Г. Е. *Проблемы глиссирования. Л. : изд. Наркомвоенмора, 1934.*

Комментарий специалиста

В принятом автором критерии начала глиссирования в виде «большой степени» превосходства динамических сил над гидростатическими видится некоторый субъективизм. Можно начало глиссирования сдвигать в сторону меньших соотношений динамики и статики, а можно – в сторону больших чисел Фруда. Второй подход представляется более правильным.

Действительно, стандартизированного процента динамической подъемной силы, с которого режим глиссирования можно считать состоявшимся, нет. Но существует некая негласная и недокументированная договоренность, что он начинается с 80%. Естественно, плюс-минус. А вот тезис о превышении гидродинамического давления над гидростатическим по всей длине корпуса на малых углах дифферента, пожалуй, не совсем верен.

Что касается схода потока со скулы (и с транца тоже), то это просто указывает на то, что на несущей поверхности возникла подъемная сила. Практически – это аналог постулата Чаплыгина-Жуковского. И связывать его с соотношением гидродинамики и гидростатики я бы не решился. В чем автор дальше и признается на примере корпусов катамаранов. В целом мнение автора по большинству позиций соответствует принятому в судостроении представлению о процессе глиссирования. Только следует подчеркнуть, что к конкретным цифрам надо относиться с осторожностью.

Александр Бесядовский, проф. СПбГМТУ

