

Алексей Даняев



# ГИДРОДИНАМИКА и «рюшечки»

**В**сякий водномоторник желает, чтобы его глиссер был самым быстрым, экономичным, мореходным... Но физика движения твердого тела в воде непобедима: чтобы получить некоторую скорость, на перемещение единицы требуемой нагрузки следует затратить совершенно определенное количество лошадиных сил. Исследование этой зависимости потребовало многолетних трудов действительно замечательных специалистов разных стран. Как результат, судостроительная наука на сегодняшний день располагает эмпирической теорией глиссирования, с достаточной точностью связывающей несколько существенных факторов – скорость, нагрузку, несущую ширину, центровку, килеватость – «игра» которыми в расчетах и экспериментах позволяет добиться от данного конкретного корпуса наилучшего соотношения между ходовыми и мореходными качествами (для глиссеров это, вообще говоря, взаимоисключающие вещи). Спортсменам-водномоторникам хорошо известен обязательный процесс «настройки» корпуса под гонщика, без которого достижение высокого результата невозможно.

Авиаторы по сравнению с судостроителями находятся в более выгодном положении – вспомните, как во время разгона устойчивого полета или посадки самолета за счет механизации крыла меняется его аэродинамика. Все же тяга к чуду неодолима, и в некоторой мере она свойственна натуре истинного новатора. Кто из нас не мечтал приспособить к корпусу такое устройство, которое скачком снизило бы сопротивление движению лодки и сделало ее владельца чемпионом клуба в скорости, экономичности, маневренности? Подобных «революционных» устройств и особенностей формы днища придумано и запатентовано множество. Среди корабелов ходила даже байка о некоем самородном таланте, построившем судно с особыми «чебышевскими» шпангоутами, отчего оно приобрело высочайшие эксплуатационные качества! В том, что в 60–70-е гг. страна пережила своего рода бум творчества судостроителей-любителей, есть и несомненная заслуга нашего журнала. Как это бывает, время многое расставило на свои места, но и сегодня, просматривая отчеты о переоборудовании старых корпусов либо воплощении любительских проектов, можно встретить

довольно наивные суждения о влиянии реданов, гидролыж, туннелей и тому подобных «рюшек» на ходовые качества лодок. Попробуем рассмотреть несколько распространенных заблуждений на этот счет.

## Реданы

Эти характерные уступы на днище глиссера обычно подразделяют на продольные и поперечные. Мы видим их в значительном количестве на любом скоростном катере, и может сложиться впечатление, что, чем больший процент днища занимают разнообразные ступеньки, тем выше скоростной потенциал корпуса. Водномоторники, приводящие в порядок какую-нибудь старую «дюральку», часто спрашивают: «Стоит ли озаботиться установкой на днище продольных реданов, сделанных из профиля-уголка?». И обычно получают утвердительный ответ. Основания для такого совета есть: накладки на тонком днище повышают его жесткость, убирают бухтины, и это способствует росту скорости. Как свидетельствует опыт американских судостроителей, обычные уголки, приклепанные полкой к обшивке, работают как классические продольные реданы,

т.е. повышают подъемную силу на днище, курсовую устойчивость и сопротивление дрейфу в повороте, отсекают «лишнюю» воду от скулы. Но какой ценой? Две пары уголковых профилей 40×40 трехметровой длины добавляют к смоченной поверхности целый квадратный метр, а он при типичной скорости глиссирования 10 м/с дает около 17 кгс дополнительного сопротивления трения, отнимающего у мотора более 3 л.с. мощности, которые с увеличением скорости вырастают в кубической степени. Оправдаются ли они за счет равноценного уменьшения несущей ширины, ради чего, собственно, и задумывается продольное реданирование? Есть простой критерий его насущной необходимости: если в силу высокой скорости хода либо малости нагрузки поперечный брызговой поток («усы») смещается слишком близко к транцу, а смоченная поверхность приближается по форме к треугольнику, значит, несущая ширина избыточна; при дальнейшем увеличении энерговооруженности поддержание достаточно высокого гидродинамического качества корпуса уже невозможно. Кроме того, при глиссировании «на треугольнике» резко ухудшается продольная устойчивость хода, появляется склонность к дельфинированию, возможны опасные зарыскивания. Как показывает расчет, классическая малокилеватая четырехметровая «дюралька» под минимальной нагрузкой достигает такой неблагоприятной посадки при скорости примерно 47–50 км/ч, что близко к предельному по безопасности режиму хода. В большинстве же эксплуатационных случаев поток

будет «правильно» сходиться со скулы, и, следовательно, продольное реданирование, если оно будет проведено, не даст реальных преимуществ, кроме увеличившейся устойчивости на курсе. Именно по этой причине на типичных килеватых лодках потребительского класса продольные реданы не доводят до транца, ограничиваясь для них лишь функцией брызгоотбойников в области носовой струи.

Зато лодка таких же размеров и массы, но с увеличенной до 12° килеватостью выйдет на «треугольник» уже при 35 км/ч, по достижении режима развитого глиссирования, и это значит, что при относительно малой нагрузке на несущую ширину (коэффициент статической нагрузки  $CD = D/B^3 < 0.15$ , где  $D$  – полное объемное водоизмещение, м<sup>3</sup>) умеренно- и сильнокилеватое днище уже имеет смысл продольно реданировать. Кроме прироста скорости эта мера приведет также к повышению ходовой устойчивости.

Аналогичная ситуация будет иметь место и с поперечным реданированием, в том числе и с дельтавидным. Применение поперечного редана может существенно, процентов на 15–25, снизить сопротивление корпуса, но заставить его правильно работать – задача нетривиальная, требующая определенного объема экспериментальной работы (об экстремальной работе поперечных реданов мы рассказывали в «КиЯ» № 163 на примере гоночных катеров открытого моря). Принципиально важно, чтобы корпус изначально был спроектирован для работы с поперечным реданом – со смещенной в нос центровкой, правильным соотношением размерений, а глав-

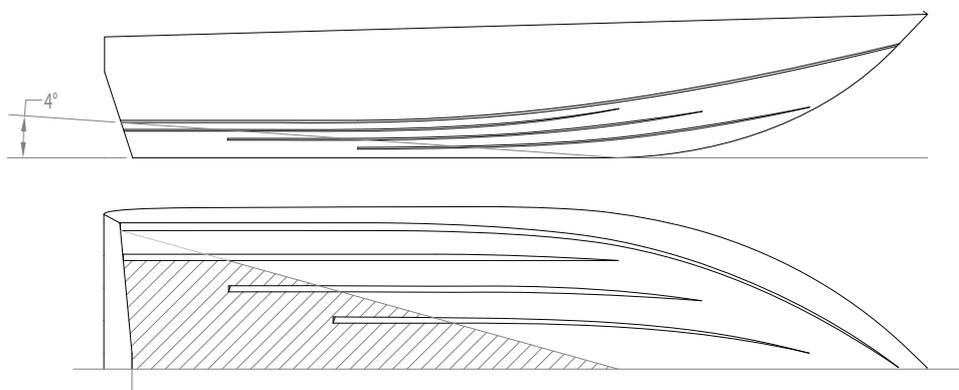
ное – должно быть обеспечено надежное сообщение зареданной области с атмосферой на всех режимах движения, иначе «ступенька» на днище превратится в очень эффективный тормоз. Столь же хорошим тормозом поперечный редан станет и в случае, когда брызговой поток с него сойдет не наружу, со скулы либо продольного брызгоотбойника, а в сторону кормы, с замывом зареданной части днища, т.е. при выходе носовой несущей поверхности в упомянутый режим «треугольника».

Чаще можно увидеть небольшого размера поперечные уступы в районе скулы, в носовой части – в районах днища, замываемых непостоянно, на режиме разгона либо при ходе по волне. Эффективность таких «украшений», как правило, копеечная, но при этом они вполне безобидны, так как работают только время от времени. Так, запатентованный на американских катерах «Monterey» характерный уступ на скуле носит имя «Air Assist Chine», и он наверняка немного помогает скорейшему уходу от замыва борта при разгоне. С ростом скорости влияние подобных устройств на поведение лодки возрастает, и это может стать достаточным основанием для экспериментов со вспомогательными уступами-наделками. Например, сильно изогнутые поверхности носа и борта могут при входе в волну создавать подсосывающую силу, которая приводит к резким зарыскиваниям катера. Хороший способ борьбы с этим явлением – установка на изогнутых участках обшивки носа поперечных накладок клиновидного сечения, которые оторвут поток и не дадут корпусу броситься в сторону попадающих по курсу одиночных «кочек».

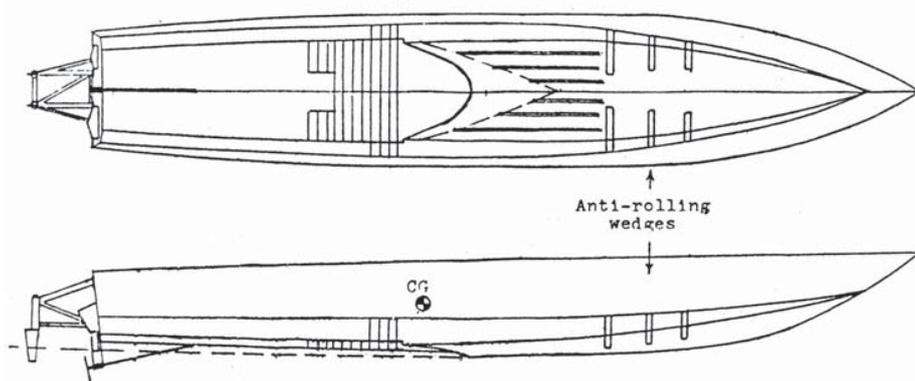
Последствия реданирования чаще всего неоднозначны, так что, планируя улучшить днище вашей лодки разного вида ступеньками и плавничками, во-первых, просчитайте целесообразность их установки и, во-вторых, придумайте способ заглянуть со стороны под скулу судна, чтобы удостовериться в правильности замыва корпуса при различных нагрузках и режимах хода.

### Гидролыжа

Так называемая гидролыжа – значительно удлиненная плоскость на днище вдоль киля – часто встречается как в



Рациональное продольное реданирование типового глиссирующего корпуса осуществляется с таким расчетом, чтобы смоченная поверхность в плане приближалась к треугольнику с возможно малой длиной по килю, но с непременным сходом брызговой струи в сторону борта. В этом случае сопротивление движению будет минимальным, а устойчивость хода – достаточной. Продление всех реданов до транца расширит границы устойчивого режима движения, но и добавит сопротивления.



Реданированный катер «Пейссеттер» Э.Клементя – классический пример глубоко продуманной системы реданирования килеватого корпуса. Стреловидный поперечный редан обеспечивает минимум сопротивления движению, продольные брызгоотбойники уменьшают замывы при сходе поперечной струи. Клинья в зареданной области днища облегчают отрыв потока при разгоне и на полном ходу не замываются. Три пары коротких реданов-клиньев в носу располагаются на выпуклой надводной поверхности днища; они начинают «работать» на волне, исключая возникновение областей с отрицательным динамическим давлением, раскачивающих корпус на ходу.

профессиональных, так и любительских проектах мотолодок. Достаточно вспомнить некоторые из «Радуг» Ю.А.Зимины, «сани Фокса», популярные у наших производителей проекты группы «Срестар». Влияние гидролыжи на ходовые качества народная водно-моторническая молва окружает ореолом таинственности. Нередко употребляют выражение «выйти на гидролыжу», подчеркивая кажущийся особый характер ее работы.

На самом деле гидролыжа представляет собой частный случай модифицирования шпангоутов глассирующего днища переменным по ширине углом килеватости. Как это сказывается на гидродинамике корпуса? В теории глассирования есть понятие эффективной, или усредненной, килеватости сечения, применяемое в случае, когда угол наклона разных участков днища относительно ОП непостоянен. Он вычисляется через усреднение динамических давлений, производимых набегающим потоком на данный участок днища, «вырезанный» между смежными поперечными

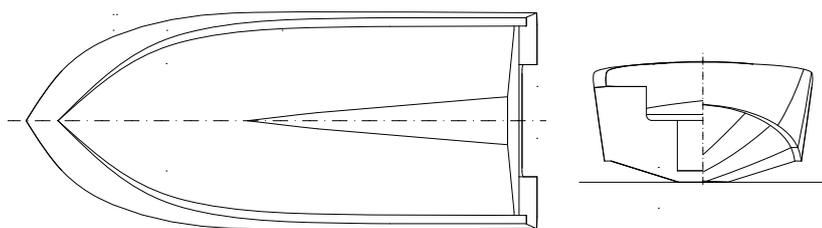
сечениями. Фактически на тихой воде нет разницы в качестве работы более килеватого корпуса, оборудованного лыжей, и обычного призматического корпуса с уменьшенной, «приведенной» килеватостью, но картина меняется, когда мы выходим на волну. Как правило, когда ход по волне в режиме глассирования возможен и еще достаточно комфортен, судно встречает волну носовой третью корпуса. В этом случае конструкторы стараются делать шпангоуты более заостренными, что способствует снижению ударных нагрузок. Но если вероятность встречи кормовой трети днища с уже подбитой носом волной невелика, зачем делать корму излишне килеватой, снижая ценную подъемную силу? Расширяющаяся гидролыжа действует аналогично «крутке» днища, оставаясь при этом технологичным решением при изготовлении днища из листовых материалов, и принимает на себя повышенные давления набегающего потока, способствуя этим общему уменьшению смоченной поверхности и силы сопротивления. Прямая гидролыжа просто

несколько уменьшает эффективную килеватость днища не в ущерб мореходности. Вот и вся мистика. Очевидно, при высоких скоростях хода, когда корпус часто спрыгивает с волны и приводняется кормовой частью, излишне широкая гидролыжа окажет медвежью услугу – сила ударов при ее наличии возрастет. Речь же о том, что реальный корпус сможет оторвать поток от кромок лыжи, «выйти» на нее, осушив наклонные участки днища, вряд ли стоит вести – для этого лыжа должна отстоять от основного днища по вертикали по крайней мере на величину своей ширины, как в известном проекте «Морской нож» П.Пейна, а это очень экстремальный тип судна.

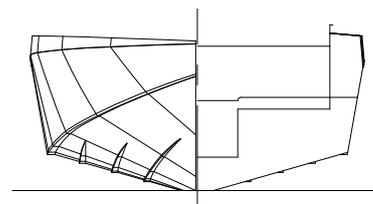
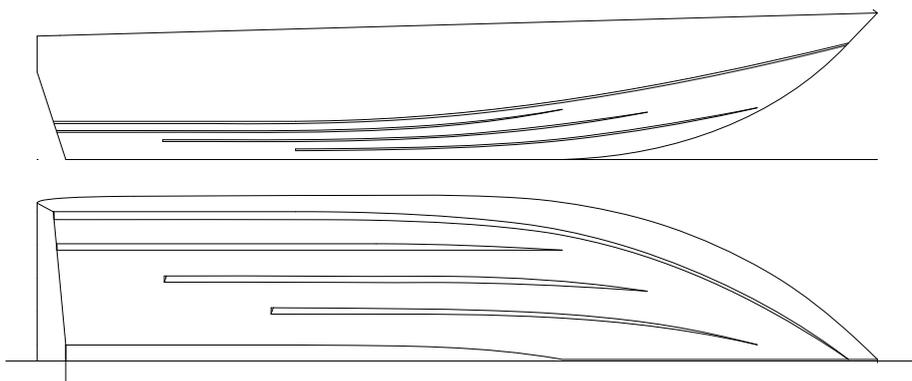
О чем следует подумать, замышляя гидролыжу? Во-первых, она должна начинаться за изгибом форштевня, чтобы ее плоские участки по возможности не шлепали о волну высотой до 30–50 см, не тормозили корпус при резкой встрече с волной. Во-вторых, ее продольное формирование тесно связано с распределением килеватости остального днища. Если килеватость снижается по всей длине до самого транца, лыжа приобретает вид клина, и здесь важно не переборщить с его шириной, потому что сопутствующая избыточная «закрученность» днища плохо скажется на посадке корпуса и устойчивости хода. Чтобы лодка не страдала рыскливостью, полезно вывести часть лыжи на постоянную ширину.

### Гидрокрылья

О гидрокрыльях – профилированных пластинах из упругого пластика, устанавливаемых на антикавитационную плиту подвесного мотора – мы писали не раз, и делали упор в частности на том, что, если лодка не ведет себя аномально из-за излишне кормовой центровки, применять их не имеет смысла. Немного ускоряя за счет развиваемой подъемной силы выход на глассирование и устраняя избыточный дифферент на корму, а также эффективно препятствуя килевой качке, гидрокрылья при этом заметно снижают максимальную скорость хода. Тем не менее невысокая их стоимость и реклама в разнообразных каталогах искушают неопытных судовладельцев-улучшателей на собственные эксперименты. Хорошо, что демонтаж крыльев не составляет



Узкая гидролыжа вдоль киля – способ увеличить подъемную силу на днище, не слишком жертвуя ценной килеватостью тех его областей, которые на ходу подвергаются постоянному воздействию волны. Расширяющаяся в корму гидролыжа придает постоянно-килеватому корпусу свойства «закрученно-килеватого», позволяя при этом выполнить его из листовых материалов.



Рационально спроектированный корпус с гидролыжей. Ширина гидролыжи постоянна на некоторой длине, что повышает устойчивость хода. Продольное реданирование обеспечивает оптимальность формы несущей поверхности в реальном диапазоне нагрузок и скоростей.

особого труда. Здесь мы не говорим о гидрокрыле на корпусе, которое может значительно повысить скорость хода.

### Транцевые плиты и интерцепторы

Что дает установка транцевых плит? Это традиционно один из наиболее популярных вопросов на форуме «Кия». Очень уж интересно выглядит «рюшечка», особенно если она управляемая электрогидроприводом, да и цена ее вполне доступна. Мнения даже опытных владельцев лодок, оборудованных и не оборудованных этими средствами контроля посадки глиссирующего корпуса, расходятся. С одной стороны, откидка подвесного мотора или колонки во многих случаях с успехом заменяет плиты, влияющие на ходовой дифференциал катера, к тому же они создают добавочное сопротивление, и повредить их несложно о камни. С другой стороны, те, кто однажды опробовал транцевые плиты в работе, привыкают к ним и пользуются ими едва ли не «на автомате». Плиты реально помогают выйти на глиссирование с увеличенной нагрузкой, «исправляют» грубые ошибки при его проектировании,

устраняют неправильность посадки корпуса при перегрузе кормы или при сильном боковом ветре, когда необходимо устранить крен, а значит, в конечном итоге берегут бензин и ресурс двигателя. Каютные катера с ограниченными возможностями исправления центровки путем перемещения грузов определенно стоит оснащать ими. Желание пристроить транцевые плиты на небольшую моторку, тем более на надувную лодку, вряд ли будет обоснованным, разве что для исправления очевидных конструктивных промахов – кривизны днища, изначально неправильного размещения масс в корпусе и т.п.

Заметную конкуренцию транцевым плитам в последние годы начали составлять управляемые интерцепторы, которыми ряд катеров сейчас оснащают ими прямо с завода. Опыт редакционных тестов и отзывы владельцев говорят со всей определенностью: интерцепторы несколько не проигрывают по эффективности работы плитам, кое в чем удобнее их, например в защищенности и прочности; интерцепторы компактны и не загромождают пространства за транцем, не мешают

швартовке, а на заднем ходу не притапливают корму. Разница между ними – на уровне нюансов. Например, сталкивать вылетевший на мель корпус, оборудованный плитами, намного тяжелее – они зарываются в грунт. Есть также сведения, что транцевые плиты за счет своей дополнительной площади способствуют умерению качки на волнении, кроме того, они в среднем пока несколько дешевле, но тут каждый решает для себя сам.

Мы рассмотрели только несколько видов устройств, которыми склонны увлекаться самодеятельные конструкторы и любители тюнинга. Публикаций об особенностях их применения на корпусах не перечислить, но снова и снова приходится призывать судовладельцев к буддистской заповеди: прежде чем сделать что-либо, докажи себе реальную необходимость поступка. Принимая решение о тюнинге лодки с помощью той или иной «рюшечки» на корпусе конструктор-любитель должен четко представлять ее истинное назначение и границы эффективной применимости, иначе вложенный труд окажется напрасным, а иногда даже вредным.

В. Ф. Шапошников, г. Запорожье

## В защиту обводов с продольными реданами-ступенями

Для маломерных судов водоизмещением до 1 т, длиной до 5 м, предназначенных для эксплуатации на внутренних водоемах с подвесным мотором мощностью до 30 л.с., характерны три режима эксплуатации: легко-, средне- и сильнозагруженные. Здесь виды движения судна – плавание, переходный, глиссирование – обозначены термином «стадия». Каждая из них может осуществляться

в различных режимах, обусловленных весовой нагрузкой, скоростью движения, центровкой и т.п.

Общеизвестно, что при выборе мощности мотора, обводов и главных размерений, центровки исходят из условий обеспечения наивыгоднейшего режима движения для определенного водоизмещения. Для остальных же нагрузок и центровок режимы движения – как получаются. В лучшем



случае под них установят в определенной мере согласованный до какой-то степени винт. С целью рационального использования мощности мотора днище судно должно быть трехрежимным.

В процессе проектирования подводной части судна осуществляется выбор обводов днища, что также очень важно, ведется поиск их оптимизации под разграниченные эксплуатационные нагрузки, скорости, центровки. И тут обнаруживаются глубокие противоречия между желаемыми и реальными гидромеханическими возможностями, к тому же ограниченными мощностью мотора.

Поиск компромиссных решений и многовариантные расчеты привели к идее создания маломерного судна с обводами переменной килеватости и двумя продольными реданами-ступенями на каждый борт. Однако непосредственное применение профиля обводов с продольными реданами-ступенями затруднительно из-за повышенного сопротивления движению, обусловленного сопротивлением формы. (Последнее, как известно, нехарактерно для стадии глиссирования). Причина его появления объясняется образованием зон пониженного разряжения у вертикальных поверхностей реданов-ступеней при формировании обводов горизонтально расположенными днищевыми полосами. Для однонаправленного вытеснения замещаемых объемов

воды в сторону редана-ступени последующей полосы, предыдущая полоса должна быть расположена под углом к ОП, т.е. образовывать угол килеватости, а реданы-ступени иметь сужение в корме. Причем угол килеватости последующей полосы предпочтительно выбрать больше угла килеватости предыдущей полосы, а стенки реданов-ступеней должны иметь еще и наклон в сторону последующей полосы, что обеспечивает надежную ее аэрацию как со стороны носа, так и кормы. Такой наклон стенок легко достигается при формировании традиционного продольного редана на реданах-ступенях.

В рассматриваемом проекте каждая половина днища образована тремя продольными полосами, разделенными между собой двумя продольными реданами-ступенями. Приклеиваемая полоса совместно с аналогичной полосой другой половины днища образуют центральную лыжу, а ее продолжением до транца служит управляемая кормовая плита, угол отклонения которой будет изменяться на ходу дистанционно. Выбор таких обводов и их параметров обусловлен рядом причин.

Во-первых, в зависимости от скорости и весовой нагрузки судно может адаптироваться под каждый режим движения, т.е. двигаться на наименьшей ширине днища и тем самым исключать кинематическое замещение лишних



Теоретический чертеж корпуса судна, предлагаемого автором

объемов воды. Это позволит рационально использовать установленную мощность мотора. Во-вторых, оно может достигать сравнительно высоких значений коэффициента гидродинамического качества ( $K > 7$ ) на всех режимах движения при вышеприведенных значениях килеватости. В-третьих, наличие управляемой кормовой плиты позволит преодолеть «горб» сопротивления переходной стадии движения и выйти на глиссирующую.

Всем самоделщикам присуще желание опробовать на ходу корпус судна, пусть еще и недостроенный до эксплуатационной готовности, но способный уже двигаться под мотором. Не исключением был и автор этой статьи. Первым моим удивлением было полное отсутствие по бортам брызг и струй из-под днища. Из-под него валили густые клубы пара, точнее, взвешенных дисперсных частичек воды. Оглянувшись, я удивился еще больше: отсутствовали признаки возникновения за транцем каких-либо волновых процессов от движущегося судна. За ним тянулись две узкие пенные ленты, отстоящие друг от друга на ширину лыжи, а в кильватере – шлейф крупных пузырей и сизого дыма от выхлопных газов. И никаких следов от скольжения работающего гребного винта. Ощущение было таким, что движение происходило по принципу скольжения одного твердого тела – корпуса судна по другому телу – воде, а гребной винт ввинчивается в твердую среду. Полагая, что в увиденном мною что-то не так, решил посмотреть на это скольжение с берега. Но главное, я надеялся, что волновые процессы проявляются далеко за транцем, и с берега их увидеть трудно. Когда же судно проходило мимо меня, то первые ощущения

подтвердились: корпус скользил, а не замещал кинематически объема воды. Скольжение проходило на коротком участке лыжи с углом атаки  $1-2^\circ$  и смоченной длине 1 м, считая от 7 шп. к носу корпуса (кормовая плита еще не была встроена), а следы волновых процессов так и не были выявлены. Удивляла также устойчивость скольжения. Принятые попытки сорвать процесс скольжения путем пересечения курса другой загруженной моторной лодкой с целью образования волн, оказались бесполезны. Судно буквально прошивало их без каких-либо проявлений признаков рикшетирования или дельфинирования.

Сопоставляя характер гидромеханических процессов при апробации была выдвинута версия о существовании второго вида глиссирования: скольжения корпуса судна по воде без кинематического замещения водных масс для образования подъемной силы, т.е процесс поддержания отличается от общеизвестного.

Сравнивая скоростные качества заводских моделей («Казанка-2» и «-5», «Прогрессы») примерно равных габаритов, нагрузки и мощности, значительные преимущества были на стороне обводов с реданами-ступенями.

## Отзыв на статью В. Ф. Шапошникова «Взащиту обводов с продольными реданами – ступенями»

В статье рассмотрены вопросы проектирования и постройки моторных лодок. Ее автором спроектирована и построена моторная лодка с продольными реданами, которые идут по всей длине корпуса. Такие обводы в настоящее время хорошо известны и используются как при создании катеров различного назначения, так и при строительстве моторных лодок судостроителями-любителями.

Приведенные эскизы теоретического чертежа показывают, что для моторной лодки с подвесным мотором мощностью 25–30 л.с. выбранные основные элементы и размерения корпуса позволяют получить хорошие ходовые качества судна для диапазона нагрузок 300–500 кг. Для большого водоизмещения (800–1000 кг) и той же мощности двигателя принятые обводы и главные размерения малопригодны. В этом диапазоне нагрузок для повышения ходовых и мореходных качеств моторной лодки необходимо

изменить главные размерения и обводы корпуса, в частности, отказаться от продольных реданов в кормовой части корпуса.

В статье также приведены соображения автора о деталях гидродинамического взаимодействия глиссирующего судна с поверхностью воды. Следует подчеркнуть, что исследование этих вопросов представляет большие трудности даже для специалистов, имеющих в своем распоряжении опытовые бассейны и другое экспериментальное оборудование.

Для выявления закономерностей движения жидкости в этих случаях используют измерения давления на глиссирующей поверхности, визуализацию течения с помощью специальных красок, подводную видеосъемку, специальные модели с прозрачным днищем и другие специфические методы. Попытка детального описания особенностей движения жидкости при взаимодействии с глиссирующей



поверхностью на основе наблюдений за движением моторной лодки имеет мало шансов на успех. Приведенные автором статьи рассуждения являются несостоятельными.

Однако для постройки хорошего судна знание всех особенностей течения жидкости необязательны. Для этого нужны опыт, большая работа и немного удачи. Чего и хочется пожелать автору.

*Начальник лаборатории ЦНИИ  
им. акад. А.Н.Крылова, канд.техн.наук  
В.Н.Аюсов*