

Подвесник на «водоизмещайке»

Часть I

Насколько решительно делится водоплавающее сообщество на сторонников моторного и парусного досуга, настолько же четко происходит деление водномоторников на убежденных сторонников подвесных и стационарных двигателей. Обсуждение вариантов оборудования двигательной установки на Интернет-форумах давно отнесено к тематике «священных войн», которые с разной степенью накала могут тянуться годами.



Оставим разговоры о чисто эксплуатационных аспектах дилеммы «стационар-подвесник», таких как ресурс, доступность сервиса, компактность и защищенность конкретного исполнения энергетической установки. Обсудим эффективность самого принципа приведения в движение судна с помощью высокооборотного агрегата-моноблока, чьи параметры достаточно

жестко заданы заводскими конструкторами и каталогами поставляемых винтов.

Если принять, что эффективность подвесного мотора (ПМ) как движительного комплекса максимальна на легких глиссирующих лодках – КПД винта более 65%, и равна нулю в случае его работы в швартовном режиме, то в промежуток между этими крайностями попадает множество режимов движения судна, при которых КПД привода можно считать приемлемым с той или иной мерой допуска. Какой будет эта мера – зависит от разных соображений и конкретики задачи. Обсудим применимость ПМ в чисто водоизмещающем режиме движения, характерном для парусных яхт, шлюпок, баркасов.

ПМ komponуется на «чистокровном» водоизмещателе с ахтерштевнем не без трудностей. Для него оборудуют колодец с несущей переборкой либо выносной кронштейн, при этом приходится решать проблемы возможного заливания попутной волной, прохватав воздуха винтом при качке, мириться с повышенным расходом топлива. Тем не менее, самодеятельные конструкторы зачастую идут на установку ПМ на своих круизерах, поскольку это существенно проще и часто дешевле, чем оборудовать полноценный стационарный привод с дизелем.

В чем очевидный минус подвесника в нашем случае? Его редуктор и винт оптимизированы для применения преимущественно на быстроходных лодках. Передаточное число редуктора в зависимости от модели мотора находится в пределах 1.8–2.1, что при стандартных оборотах коленчатого вала 5200–6000 об/мин дает частоту вращения винта примерно вдвое выше, чем у сопоставимого стационара. Винты ПМ поставляются в нескольких типоразмерах, ограниченных конструкцией редуктора; стандартные диаметры – 8.75, 9.25, 10, 12, 14 дюймов (215, 230, 250, 300, 350 мм; на практике диаметр может немного отличаться от нормативного). Противники подвесных моторов утверждают, что в случае установки на водоизмещающих лодках винт обычного, неспециализированного ПМ работает в режиме, далеком от оптимального, и его КПД получается ничтожным. Проверим, так ли это.

Идем от винта

Работа некавитирующего гребного винта полностью описывается серийными диаграммами $K_1-\lambda$ (Справочник по малотоннажному судостроению под ред. Б. Г. Мордвина, 1987 г., далее все ссылки – на него). Диаграмма (рис.1) представляет собой зависимость характеристики упора K_1 от относительной поступи винта $\lambda = v/nD$, где v – скорость потока на винте, n – частота вращения гребного вала об/с, D – диаметр винта, м. Именно величина поступи в наибольшей степени характеризует эффективность винта. Для типичных

трехлопастных винтов с дисковым отношением (ДО) около 0.5 наибольший теоретический КПД ($\eta = \max$) отмечается при $\lambda > 0.7$. При уменьшении поступи по какой-либо из трех причин (скорость, диаметр, обороты) эффективность винта падает, причем более активно – в области малых значений λ . Не забудем учесть влияние среднестатистического корпуса: снижение скорости потока в винте на 15% и рост силы сопротивления за счет подсосывания потоком от винта на 17%.

Примем в качестве граничного значение КПД около 50%: с одной стороны, для получения более высокой его величины поступь винта необходимо увеличивать существенно, что сопряжено с конструктивными трудностями. С другой стороны, при такой норме эффективности уменьшение поступи, скажем, от ухудшившихся условий плавания, еще не приведет к сильному падению КПД – останется запас на компенсирующий рост упора. Обозначим характеристики наилучшего винта, имеющего принятый $\eta = 0.5$ и попытаемся выяснить, каким требованиям должно удовлетворять водоизмещающее судно, чтобы работающий на него совместно с ПМ винт смог удержать заданный уровень эффективности. Очевидно, это будет некоторое нижнее ограничение по ходовым качествам – для успешной работы ПМ судно должно быть достаточно легким на ходу. Насколько? Проведем оценочный расчет. Он будет приблизительным, не учитывающим многие факторы, способные повлиять на эффективность работы ПМ на борту водоизмещателя, но включающим основные присущие этим судам зависимости, и поэтому полезным для принятия решения о применении ПМ на тихоходном судне.

Режим 1: наилучший из компромиссных.

Сначала на диаграмме $K_1 - \lambda$ для трехлопастных винтов с ДО 0.5 выберем рабочую точку. Ей предпочтительно лежать на линии режимов, наиболее эффективных по оборотам, которая отмечена на диаграмме символами K'_d . С учетом снижения КПД от влияния корпуса примем, что приемлемый для водоизмещателя трехлопастной винт имеет шаговое отношение H/D около 0.88 и поступь 0.495 при коэффициенте упора, равном 0.203 (точка 1 на рис. 1). Вычислим развиваемый им упор и требуемую для вращения мощность при стандартных значениях диаметра. Для нахождения оптимальной частоты вращения не хватает знания скорости движения судна. Ей надо задаться.

Известно, что для классического водоизмещающего корпуса существует предельная скорость движения, превышать которую приложением дополнительной мощности не имеет смысла – сопротивление движению начинает расти при этом очень быстро. Предел приходится на относительную скорость $F_r = \sqrt{gL}$ равную 0.35–0.4. Значит, можно сопоставить абсолютному значению предельной скорости (именно на этой скорости обычно и ходят водоизмещающие катера) соответствующую ему длину судна по ватерлинии L . Таким

образом, для нескольких значений типовых диаметров по формулам справочника получаем обороты, упор и требуемую мощность в зависимости от заданной длины корпуса. Полученные зависимости приведены на рис. 2.

Как видно по результатам, область «компромиссных» оборотов для большинства типовых винтов приходится примерно на середину рабочего диапазона ПМ (2500–3500 об/мин при передаточном числе редуктора 1.85–2). Это значит, что ПМ, располагающий максимальной мощностью примерно вдвое большей, чем требуется, при работе «вполгаза» может обеспечить заданную эффективность работы винта, если сопротивление движению не превысит расчетного значения упора. Винт диаметром 300 мм (12") заметно превосходит остальные по упору, но требует настолько же меньших оборотов при возросшей мощности, что создает трудности при подборе подходящей модели ПМ.

Режим 2: альтернативный. Считается, что винт для ПМ, используемого на тихоходном судне, должен иметь малый шаг и малое H/D . Важно ли это в нашем случае? Переместим рабочую точку вдоль линии постоянного КПД, равного тем же 53% (ранее мы набросили 3% на ухудшение эффективности винта от влияния корпуса) с линии оптимальных оборотов вниз на линию $H/D = 0.75$ (точка 2 на

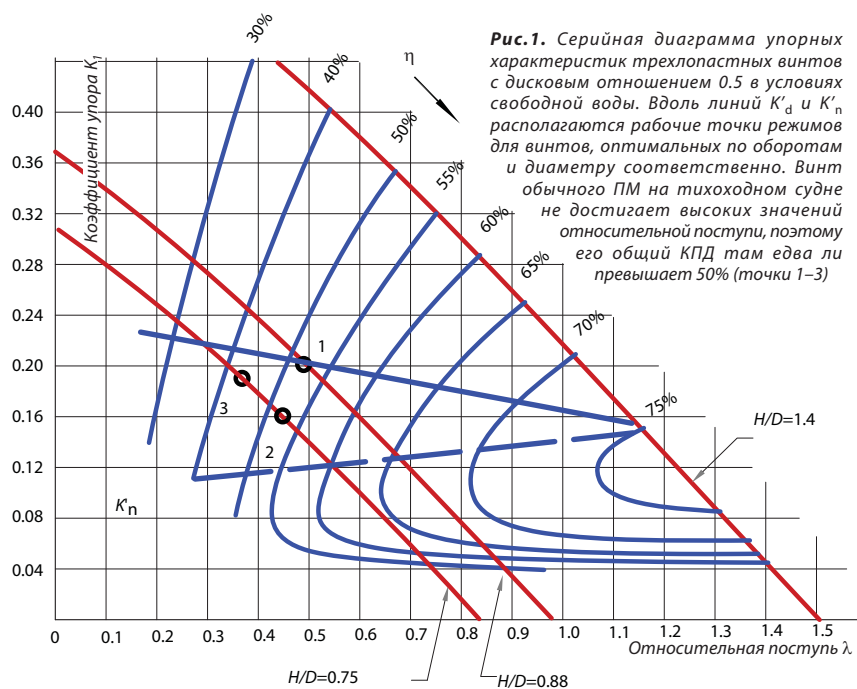


Рис. 1. Серийная диаграмма упорных характеристик трехлопастных винтов с дисковым отношением 0.5 в условиях свободной воды. Вдоль линий K'_d и K'_n располагаются рабочие точки режимов для винтов, оптимальных по оборотам и диаметру соответственно. Винт обычного ПМ на тихоходном судне не достигает высоких значений относительной поступи, поэтому его общий КПД там едва ли превышает 50% (точки 1–3).

рис. 1). Такое шаговое отношение обычно имеют наиболее «легкие» винты ПМ, которые можно приобрести в магазинах. Поступь немного снизится, уменьшится и коэффициент упора. Так как скорость и диаметр остались теми же, «легкий» винт потребует несколько более высокой частоты вращения, за счет ее упор несколько вырастет, примерно на 3%, на столько же возрастет и потребляемая мощность, но это, по-видимому, скажется на работе ПМ незначительно – ведь он выдает лишь половину своих возможностей. Делаем вывод: при работе ПМ на «компромиссных» оборотах шаговое отношение винта незначительно влияет на эффективность

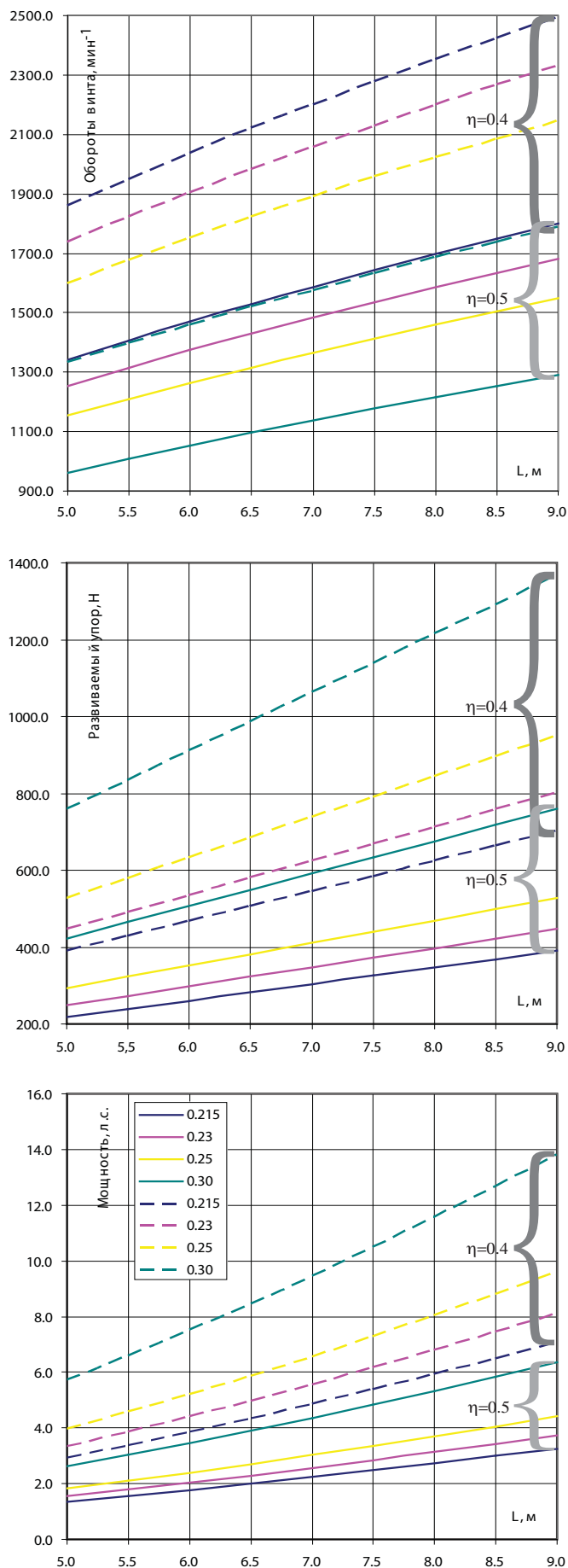


Рис.2. Расчетные обороты винта ПМ, развиваемый им упор и требуемая при этом мощность в зависимости от длины корпуса, когда достигаются заданные значения КПД 50 и 40%. Скорость хода определяется из условия достижения судном предельного $Fr=0.4$

его работы на водоизмещающем корпусе. Чуть выше обороты – чуть выше расход топлива и выдаваемый упор, но это не критично для нашей задачи.

Режим 3: «кавалерийский». Предположим, что у нас нет уверенности в достаточной ходкости нашего судна, и ради того, чтобы не приобретать более мощный мотор с увеличенным диаметром винта, мы поступимся 10% КПД и поднимем крейсерские обороты. Здесь уместен «легкий» винт с $H/D=0.75$, рабочая точка которого перемещается влево, в сторону существенно более низких поступей, а обороты приближаются к типичным для подвесника (точка 3 на рис. 1). Упор вырастает в 1.8 раз, потребная мощность – более чем в 2 раза. Конечно, ходить в таком режиме себе не пожелаешь – мотор гудит на полную, жжет топливо так же. Но, с другой стороны, если мы остаемся в границах режима движения при $Fr < 0.4$, то падение КПД винта до 40% – не слишком тяжелый крест при использовании ПМ в качестве вспомогательного. Хуже то, что запас мощности при этом заметно снижается, и если внезапно задует напористый встречный ветер на пару с волной, то, возможно, планы путешествия в этом случае придется поменять.

«Съедобное–несъедобное»

Мы обозначили возможности подвесника при работе на условно-оптимальных оборотах в составе привода водоизмещающего судна. Подходим к наиболее важному моменту исследования: какое судно можно считать достаточно ходким для того, чтобы выполнилось условие «КПД 50%»? Для этого необходимо произвести расчет сопротивления некоторого типичного корпуса в поставленных условиях и определить численное значение наиболее влияющих на ходкость его характеристик. Задача, вообще говоря, дает неограниченное пространство решений, поэтому зададимся следующими вводными. Пусть корпус по своим параметрам соответствует моделям «Серии 63» Тейлоровского бассейна с удлинением $L/B=3$ при длине по ватерлинии от 5 до 8 м. В качестве критического для ходкости параметра принято водоизмещение V , которое вычислялось по относительному удлинению $L/V^{1/3}$, принимающему значения в диапазоне 4.5–6.5; оно определяет величину остаточного сопротивления, к которому затем прибавлялось сопротивление трения, вычисленное стандартным методом, и сопротивление дейдвуда ПМ. Смоченная поверхность оценивалась по формуле Тейлора как $3 \cdot \sqrt{LD}$. Варьирование длины и водоизмещения дало однозначно определенную «поверхность возможных сопротивлений». Пересечение ее с плоскостями, соответствующими упорам стандартных винтов при различных длинах корпуса дают линии в координатах «длина–водоизмещение», по которым и можно судить о применимости ПМ на корпусах с конкретным соотношением длины и водоизмещения (рис. 3).

Каждая из линий, соответствующая винту с определенным диаметром, для граничного значения КПД делит область возможных сочетаний длины и водоизмещения на две части. Суда с L и V , которые попадают ниже линии данного винта, можно разогнать до предельной скорости при эффективности движителя не хуже заявленной. Те, что лежат

выше линии – тяжелы на ходу, и винт ПМ не достигает заданного уровня эффективности. Видно, что длинные суда, приводимые в движение ПМ, поставлены в более жесткие рамки по допусжаемому водоизмещению, чем короткие. Например, чтобы достичь скорости 10–11 км/ч под подвесным мотором, сохраняя $\eta=0.5$, 5–6-метровая лодка под 6–8-сильным ПМ с винтом диаметром 8.5 дюйма должна иметь полное водоизмещение не выше примерно 500 кг. При условии установки мотора с винтом большого диаметра можно позволить себе превысить тонну в водоизмещении, но и это довольно жесткое требование для владельца круизного тихохода. Ослабив же требования к эффективности винта, можно значительно расширить массогабаритные пределы применимости ПМ на водоизмещателе. Видно, что под 10–15-сильным мотором можно успешно гонять на предельной скорости полутоннажные корпуса, но уже на оборотах от 3500 об/мин. А под винтом диаметром 300 мм «на ура» пойдут и трехтонные парусные яхты, жаль только, что маломощные подвесники с винтами такого диаметра – большая редкость.

Нетрудно видеть, что в условиях нашей задачи для каждого из диаметров независимо от длины судна существует предел водоизмещения, переступить который не стоит ради сохранения заданного значения КПД. Можно «привязать» значение достижимого КПД к некоторому критерию, отражающему связь между диаметром винта ПМ и водоизмещением судна, например к соотношению $D/V^{1/3}$. Прослеживается явно выраженное соответствие: для получения на винте обычного ПМ $\eta=0.4$ величина $D/V^{1/3}$ должна быть не меньше 0.2, а для $\eta=0.5$ – не меньше 0.27.

Ситуация упрощается в случае применения ПМ с грузовым редуктором, передаточное число которого доходит до 2.5–2.9. Не обременяя владельца избыточным весом, такой двигатель крутит винт увеличенного диаметра, что значительно расширяет границы применимости подвесника.

Выводы

Как видим, рамки условий успеха подвесника на водоизмещающем корпусе довольно тесны. Но что бы ни говорили противники установки ПМ на тихходные шлюпки, обладающий двойным запасом мощности мотор способен

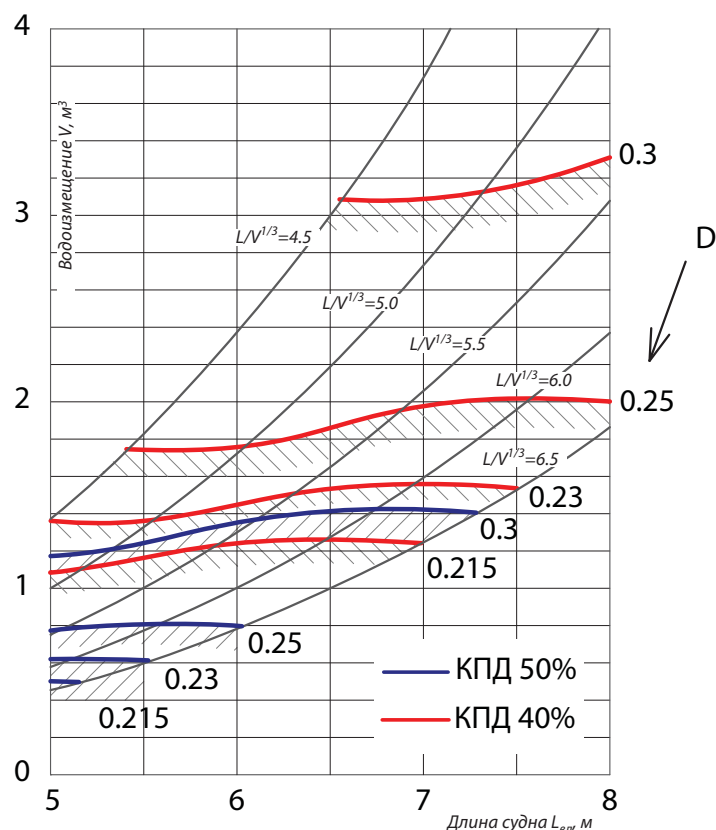


Рис.3. Решение задачи соответствия ПМ с несколькими типичными диаметрами винтов водоизмещающим корпусам с различными сочетаниями длины и водоизмещения. Как видно, эффективность работы винтов очень слабо зависит от длины судна, но существенно связана с его водоизмещением

и выдать достаточный упор, и иметь пропульсивный КПД не хуже иного «колхозного» стационара, а если он еще и четырехтактный, то окажется очень достойной альтернативой, легкой, компактной и не слишком шумной. Применение четырехлопастного винта вместо трехлопастного несколько поднимет упор. Принципиально важно не превышать сопротивление движению. В случае тяжелого на ходу корпуса маленький винт ПМ может превратиться в «миксер», впуская сверлящий воду, поэтому для достижения достойного значения эффективности его работы необходимо ограничивать относительную нагрузку на винт, в частности, поддерживать максимальное соотношение между диаметром винта ПМ и водоизмещением вашего судна. ■

А. Д.

