

О ПРИМЕНЕНИИ ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА СУДАХ

Г. Г. Мартиросов, канд. техн. наук, Д. С. Харченко,
ст. инженер (Головной филиал НПО «Винт»,
e-mail: msk@vintnpo.ru, ОАО ЦС «Звездочка»)

УДК 629.5.061.17

Возрастающая интенсивность движения судов в проливах, портах и реках обусловила повышение требований к обеспечению безопасности плавания. Поэтому в настоящее время практически нет судов, на которых бы не устанавливались средства активного управления (САУ) для улучшения управляемости на малых ходах. Одновременно оснащение судов САУ позволяет экономить средства на привлечение буксиров для перемещения судов в портах. Для повышения маневренных качеств судов расширяется применение в качестве главных движителей движительно-рулевых колонок (ДРК), обеспечивающих круговое изменение направления тяги винта. Подобные ДРК применяются на судах всех типов, включая суда ледового плавания и ледоколы. Важно отметить, что оборудование судов САУ с подруливающими устройствами (ПУ), выдвижными ДРК и активными рулями осуществляется и на судах, где в качестве главного движителя используются ДРК.

Наибольшее распространение получили САУ на речных судах и судах «река—море» плавания. Если ранее ПУ на них устанавливались редко, то в настоящее время они есть практически на каждом судне.

Высокие требования к обеспечению маневренности судов обслуживания морских платформ добычи нефти и газа обусловили оснащение данных судов мощными САУ.

Как показывает практика, перечисленные выше факторы привели к тому, что требования к пропульсивным характеристикам САУ на строящихся в настоящее время судах возросли в несколько раз, а иногда более чем на порядок. Если ранее удельная тяга (отношение суммарной тяги ПУ к площади погруженной ча-

сти диаметральной плоскости судна $L \times T$, где L — длина судна по ватерлинии, T — осадка судна) составляла 5–15 кгс/м² (50–150 Н/м²), то на строящихся судах-спасателях, например оснащенных полноповоротными ДРК, тяга только ПУ на квадратный метр подводной части судна достигает 100 кгс/м² (1000 Н/м²). На ледоколах, также оснащенных полноповоротными ДРК, на которых ПУ ранее не устанавливались, удельная тяга ПУ составляет 25–55 кгс/м² (250–550 Н/м²).

Как показывает практика, мощность ПУ зависит от типа судна, особенностей его пропульсивного комплекса и энергетической установки и назначения ПУ. Например, в дополнение к мощности главных движителей мощность ПУ, устанавливаемых на судне, составляет: на одновинтовых судах — 7–18% мощности главного движителя; на судах с двумя ДРК — 5–12%; на ледоколах и судах ледового плавания — 6–8%; на буровых судах, где ПУ обеспечивает динамическое позиционирование судна, — более 50% (до 100% и более) мощности главных движителей.

Соответственно возросла энергоооруженность современных судов и особенно главной энергетической установки.

При одном и том же диаметре гребного винта мощность, потребляемая ПУ, существенно зависит от его назначения. Объясняется это следующим: если ПУ используется для обеспечения маневрирования судна на малых скоростях хода, то наработка ПУ в год, как правило, не превышает 1000 ч. Если же ПУ предназначено для динамического позиционирования (например, на буровых судах), то наработка ПУ в год может превышать 5000 ч. Поэтому для обеспечения требуемого увеличенного ресурса рабо-

ты мощность ПУ, устанавливаемых на судах для обеспечения динамического позиционирования, при одном и том же диаметре гребного винта должна быть уменьшена в 1,3–1,5 раза по сравнению с ПУ, используемыми на судах для обеспечения маневрирования на малых ходах. Тяга ПУ для обеспечения динамического позиционирования при указанной выше уменьшенной мощности будет на 15–20% меньше, чем у ПУ, предназначенных для маневрирования. Кроме повышения требований к обеспечению ресурса и надежности для ПУ, установленных на судах, для которых динамическое позиционирование является основным режимом эксплуатации, первоочередное значение приобретают требования по экономичности ПУ, в том числе при работе в режиме маневрирования. На данных судах мощность, затрачиваемая на работу ПУ, является основной составляющей в суммарной мощности энергетической установки судна. При этом затраты на снабжение топливом, учитывая, что эти суда не бункеруются в портах, а топливо им доставляется судами обеспечения, существенным образом определяют экономику эксплуатации данного типа судов. Поэтому типоразмер ПУ, предназначенных для обеспечения динамического позиционирования, должен выбираться с учетом указанных выше условий уменьшения мощности и тяги.

На ряде судов по конструктивным соображениям для обеспечения требуемой тяги устанавливаются два ПУ в носу. При этом необходимо учитывать, что при одинаковой мощности ПУ тяга на разные борта может отличаться до 10%. То есть, если установлено два однотипных ПУ, возможно получить на один борт тягу $2P_e$, а на другой $\sim 2,2P_e$ с соответствующим усложнением управления судном. Равенство тяги на оба борта может быть обеспечено двумя путями: увеличением тяги за счет соответствующего увеличения частоты вращения гребного винта ПУ при частотном регулировании приводного электропривода либо установкой на судно двух модификаций ПУ—«ПУ правого борта» и

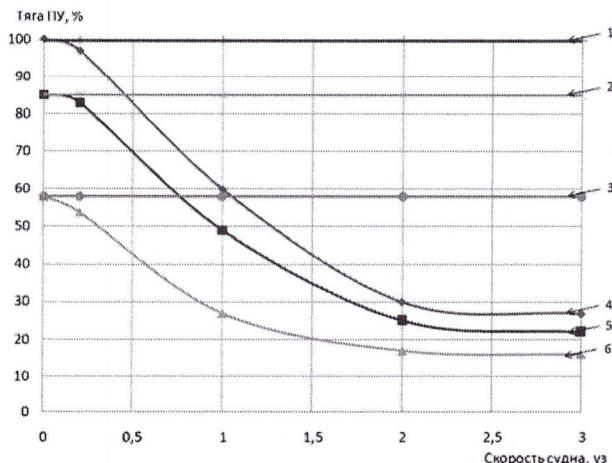
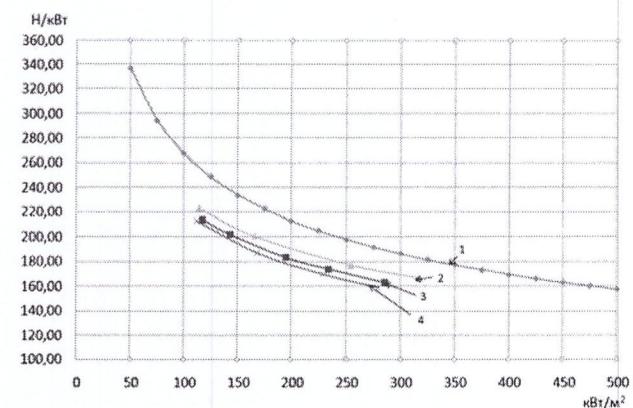


Рис. 1. Влияние скорости судна на тягу ПУ:

- 1 — кормовое ПУ, частота вращения 100% от номинальной;
- 2 — то же при 90%; 3 — то же при 75%; 4 — носовое ПУ, частота вращения 100% от номинальной; 5 — то же при 90%; 6 — то же при 75%

Рис. 2. Зависимость эффективности (P_e/N) от гидродинамической нагрузки (N/F) ПУ:

- 1 — ПУ с максимальным коэффициентом качества;
- 2 — ПУ100ФМ; 3 — ПУ70ФМ; 4 — ПУ50ФМ (все серийно поставляются НПО «Винт»)

«ПУ левого борта». Выбор варианта обеспечения равенства тяги на оба борта при установке двух ПУ должен учитываться при проектировании судна.

При выборе типоразмера ПУ проектанту судна следует учитывать, что характеристики ПУ (тяга P_e и потребляемая мощность N), приводимые в рекламных и других материалах, указываются для изолированного ПУ. Фактически же эти характеристики будут зависеть от места установки ПУ на судне, длины канала ПУ, угла наклона бортов, применения защитных решеток на входе (выходе) в канал ПУ. Испытания, проведенные В. И. Грузиновым в бассейне НПО «Винт», показали, что установка защитных решеток площадью 10% канала ПУ уменьшает эффективность ПУ примерно на 10%. Увеличение длины прямолинейного канала ПУ с $L_k/D = 2$ до $L_k/D = 4$ (где L_k — длина канала, D — его диаметр) и изменение угла наклона борта судна в районе установки ПУ с 90° на 45° приводят к снижению эффективности ПУ на $\sim 15\%$. Эти изменения характеристик ПУ должны учитываться проектантом при расчетах маневренных качеств судна и выборе типоразмера ПУ.

Существенное влияние на эффективность ПУ при движении судна оказывает расположение ПУ в носу или корме. Это различие объясняется следующим. На корпусе

судна в районе выходного канала возникает сила засасывания, направленная в сторону, противоположную направлению тяги струи. Эта сила может достигать значительной величины и при скорости судна, близкой к скорости выброса струи из канала ПУ, может приближаться к величине тяги. В этом плане необходимо учитывать эффективность ПУ при расположении его в носу или корме судна. Толщина пограничного слоя при движении судна в носу существенно меньше, чем в корме. При кормовом расположении ПУ вследствие большой толщины пограничного слоя скорость обтекания корпуса близка к нулю. Условия на выходе струи ПУ вблизи корпуса остаются такими же, как на швартовном режиме, и сила засасывания, снижающая эффективность ПУ, близка к нулю. Результаты испытаний модели судна, проведенных Э. П. Лебедевым в бассейне ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, при кормовом и носовом расположении ПУ наглядно иллюстрируют это положение (рис. 1).

Неизгладимое впечатление на одного из авторов данной статьи произвело плавание на управляемом опытным капитаном рыбопромысловом судне «Наталья Ковшова», оборудованном ВРШ и носовым ПУ. При подходе к базе капитан развернул судно кормой вперед и при скорости около 3 уз

осуществлял вход в базу, управляя судном подруливающим устройством. На вопрос, почему он так необычно входит в базу, капитан ответил: «Так судно при скорости 2—4 узла руля почти не слушается, а носовое ПУ при ходах носом вперед малоэффективно. Я всегда при малых скоростях так управляю судном».

Как было сказано выше, эффективность ПУ при движении судна зависит от отношения скорости судна V к скорости выброса струи из канала ПУ V_s , т. е. V/V_s . Увеличение скорости выброса струи из канала и гидродинамической нагрузки на ПУ приводит к уменьшению влияния скорости судна на эффективность ПУ.

Однако увеличение гидродинамической нагрузки, связанное с уменьшением диаметра винта ПУ, как следует из рис. 1, приводит к снижению эффективности ПУ. Поэтому при выборе исполнения ПУ следует учитывать его назначение для конкретного судна. При установке ПУ на судне для обеспечения динамического позиционирования при скорости судна, близкой к нулю, предпочтительнее использовать ПУ с меньшей гидродинамической нагрузкой — N/F (где F — площадь диска винта), но с улучшенными тяговыми характеристиками. Приведенный на рис. 2 график зависимости $P_e/N = f(N/F)$ иллюстрирует влияние гидродинамической нагрузки

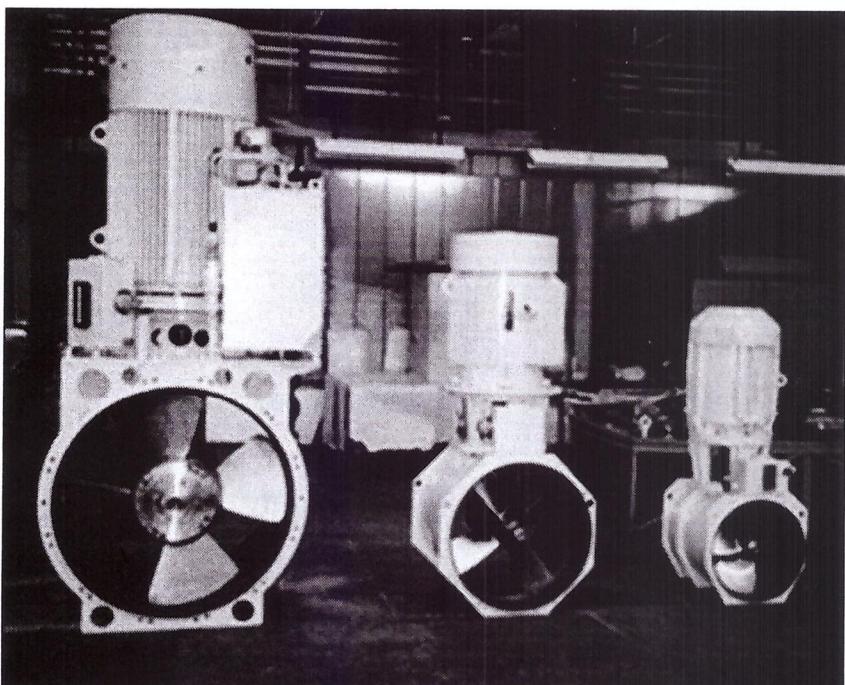


Рис. 3. Подруливающие устройства ПУ100ФМ, ПУ70ФМ и ПУ50ФМ, серийно поставляемые НПО «Винт»

женности на удельную эффективность ПУ при максимальном коэффициенте качества $(P_e/(ND_{\text{гв}})^{2/3}$, где $D_{\text{гв}}$ — диаметр гребного винта), поэтому не может служить пособием для выбора конкретного типоразмера ПУ. Для примера на рис. 2 нанесены значения P_e/N и N/F у реально поставляемых НПО «Винт» ПУ с винтами фиксированного шага в диапазоне мощностей, приведенных в таблице.

Традиционные ПУ поставляются с винтами фиксированного (ВФШ) и регулируемого шага (ВРШ). С точки зрения управления судном оба типа ПУ равнозначны. В ПУ с ВРШ движительная конструкция более сложная и имеет большие массу и габариты. Однако она позволяет применять электропривод с электродвигателями с постоянным числом оборотов, обеспечивая регулирование и реверсы тяги ПУ перекладкой лопастей ВРШ. Как показал многолетний опыт эксплуатации нескольких

сотен ПУ мощностью 130 кВт с ВРШ, изготовленных отечественной промышленностью для судов различных типов, замечаний по надежности данных ПУ не было. Создание частотно регулируемого электропривода переменного тока обусловило расширение применения ПУ с ВФШ. В данных ПУ плавное регулирование частоты вращения и реверс приводного электродвигателя ПУ осуществляется с помощью полупроводниковых преобразователей частоты. В НПО «Винт» созданы и серийно произво-

дятся ПУ мощностью до 250 кВт (рис. 3). Осваивается производство ПУ с ВФШ мощностью до 1100 кВт. Учитывая принципиально большую надежность ВРШ по сравнению с ВФШ при работе во льдах [1], следует полагать, что на судах ледового плавания применение ПУ с ВРШ может оказаться предпочтительнее. В любом случае при использовании ПУ на судах ледового плавания необходимо обеспечить максимальное заглубление канала ПУ.

Отличным от рассмотренных выше традиционных ПУ с каналом, перпендикулярным ДП судна, является экологически безопасное ПУ с Т-образным каналом, представленное на рис. 4. При его создании для обеспечения динамического позиционирования бурого судна исключено наличие за бортом узлов с тяжелонагруженными редукторами, заполненными маслом. Межремонтный период данного ПУ без докования судна составляет 10 лет при равной тяге с ПУ традиционной конструкции, установленными на буровых судах типа «Валентин Шашин». В созданном ПУ мощностью 1400 кВт удалось сократить время реверса тяги до 3 с, а благодаря забору воды с днища судна — резко снизить влияние изменяемой осадки судна на тягу ПУ и улучшить защиту от подсасывания битого льда в канал ПУ. Пять подруливающих устройств данного типа, установленных на буром судне «Арктиксельф» (позже переименованном в «Газпром»), показали высокую эффективность в ходе эксплуатации. ПУ данного типа, несмотря на их большие массо-габаритные характеристики, имеют большие преимущества по сравнению с ПУ традиционного типа на судах, к которым предъявляются требования динамического позиционирования при работе в ледовых условиях.

Заключение. В зависимости от типа и особенностей пропульсивного комплекса и энергетической установки проектанту судна при выборе типоразмера ПУ следует учитывать эффективность его использования на различных режимах эксплуатации судна.

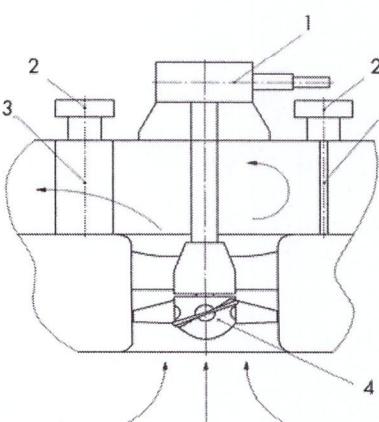


Рис. 4. Подруливающее устройство с Т-образным каналом:

1 — редуктор; 2 — привод заслонки; 3 — заслонка; 4 — ВРШ

Характеристики ПУ

Индекс ПУ	Диаметр винта ПУ, мм	Диапазон мощностей, кВт
ПУ50	500	22—55
ПУ70	700	45—110
ПУ100	1000	90—250