



## ИННОВАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Приведены особенности судов смешанного плавания нового поколения и история их строительства. Рассмотрены возможности одновальных и двухвальных судовых энергетических установок и аргументы в пользу использования на судах смешанного плавания нового поколения главных энергетических комплексов на основе двух дизель-редукторных агрегатов с параметрами гребных винтов, исходя из речной осадки судов.

Суда нового поколения, одновальные и двухвальные установки, главный энергетический комплекс, пульсивный коэффициент.

В настоящее время в Российской Федерации осуществляется массовое строительство судов смешанного плавания нового поколения (СПНП). Ежегодно только со стапелей ПАО «завод "Красное Сормово"» сходит до 11 судов СПНП.

Отправной точкой строительства судов СПНП стало 26 января 2001 года, когда было заложено головное из серии судов типа «Валдай» (проект 01010) на ОАО «Северная верфь» по заказу судоходного холдинга ОАО «Северо-Западное пароходство» (ОАО «СЗП») [1]. Строительство судов типа «Валдай» осуществлялось в рамках Государственной программы «Возрождение торгового флота России» при поддержке Президента и Правительства Российской Федерации (закладка головного судна осуществлялась под руководством Председателя Правительства России).

Суда типа «Валдай» – это универсальные сухогрузные суда смешанного река-море плавания. По классификации Российского Морского Регистра Судоходства (РМРС) они относятся к самому высокому (первому) классу судов такого типа, которые могут осуществлять плавание как во внутренних водных путях, так и в морских районах на волнении с высотой волны 3-процентной обеспеченности 8,5 м, с удалением от мест убежищ до 200 миль и с расстоянием между местами убежищ до 400 миль. Суда проекта 01010 предназначены для перевозки генеральных и навалочных грузов (до 4800 тонн), а также контейнеров (до 260 штук). Их длина – 128,2 м, ширина – 16,74 м, осадка в реке/море – 3,60/4,20 м, дедвейт в реке/море – 3670/5010 тонн, номинальная скорость – 11 узлов.

Автор (в 2000–2004 годах заместитель генерального директора судоходного холдинга ОАО «СЗП») был непосредственным участником подготовки и реализации проекта 01010 и свидетелем его значимости. В то время в прессе отмечалось, что это было «...событие национального масштаба...», когда «...впервые в новейшей истории страны российский

судовладелец строит на отечественной верфи на российские финансы» [1].

В техническом плане важность проекта 01010 состояла в том, что он определил основные черты судов смешанного плавания нового поколения, а именно [1–3]:

- повышенные мореходность (класс РМРС до R1) и грузоподъемность (до 7000 тонн);
- наличие двух палуб (верхней и главной), носового подруливающего устройства, носового бульба и двойной осадки;
- повышенные компактность, энергетическая эффективность и уровень автоматизации энергетических установок вплоть до AUT1-ICS (с применением компьютерной интегрированной системы управления и контроля).

Проектирование судов типа «Валдай» выполняло ОАО «Вымпел», в процессе которого с участием заказчика (ОАО «СЗП») обосновывались основные технические решения. Ниже представлены два фрагмента этих решений, касающихся структуры судовой энергетической установки (СЭУ) и движителей судна.

Как известно, структура СЭУ зависит главным образом от количества гребных валов или, что одно и то же, от движителей. Что касается количества гребных валов, то традиционно считалось, что для судов смешанного плавания оптимальной является двухвальная установка [4].

Между тем в девяностые годы XX столетия значительное количество судов смешанного плавания были построены одновальными (проекты 16290, 16291, 05074М, 201 и ТС-82).

Для оценки эффективности такого нововведения была использована предложенная автором еще при подготовке материалов в энциклопедию транспорта [5] комплексная аддитивная методика, которая предусматривает формирование главного энергетического комплекса СЭУ в составе главных двигателей, главных передач, валопроводов и движителей во взаимодействии с корпусом судна не поэлементно, а как единого целого.

Показателей вариантов главного энергетического комплекса судна

Параметры, размерность	Варианты ГЭК			
	I	II	III	IV
Грузоподъемность судна, т	1700	1700	1700	1700
Осадка судна в полном грузу, м	3,4	3,4	3,4	3,4
Тип СЭУ	Одновальная	Двухвальная	Двухвальная	Двухвальная
Марки главных дизельных двигателей	6ЧН26/26	4ЧН26/26	6ВД26/20АЛ	6ДР30/50
Номинальная эффективная мощность, кВт	1050	500	530	515
Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup>	1000	1000	1000	300
Главные передачи	Реверс-редукторная	Реверс-редукторные	Реверс-редукторные	Прямые
Диаметр гребных винтов, м	2,5	2,2	2,2	2,0
Пропульсивный коэффициент винтов	0,55	0,57	0,57	0,50
Удельная мощность ГЭК, кВт/м <sup>3</sup>	50,3	32,1	42,0	21,8
Удельная масса ГЭК, кг/кВт	16,5	20,9	21,1	36,0
Удельная стоимость энергии, \$/кВт.ч	0,09	0,13	0,11	0,10

В результате на альтернативной основе было установлено, что при прочих равных условиях одновальная установка имеет лучшие массогабаритные показатели и меньшие удельные эксплуатационные затраты по сравнению с двухвальной установкой (табл.).

В то же время двухвальные установки имеют преимущество в маневренности, живучести и, как выяснилось, в энергетической эффективности главного энергетического комплекса (ГЭК) судов, эксплуатирующиеся в условиях ограниченного фарватера (по условиям Волго-Донского канала осадка судов в реке не должна превышать 3,6 м). Дело в том, что наличие двойной осадки судна и ограничений судового фарватера в речных условиях влияет на состав и, особенно, на параметры гребных винтов.

Как известно [4], пропульсивный коэффициент гребных винтов – это произведение коэффициента полезного действия (КПД) винта и коэффициента влияния корпуса судна, который учитывает попутный поток воды при движении судна и эффект засасывания гребных винтов при работе их около корпуса судна. Анализ влияния этих процессов на эффективность работы гребных винтов показал, что их действие неоднородно и противоположно, а именно:

- при диаметральной установке винта (одновальная установка) его КПД существенно снижается вследствие повышения удельной нагрузки на винт, а

- коэффициент влияния корпуса судна незначительно увеличивается по сравнению с бортовым расположением винта (двухвальная установка).

Еще заметнее на пропульсивный коэффициент гребных винтов влияет частота их вращения, причем обратно пропорционально: с уменьшением частоты пропульсивный коэффициент повышается. При этом оптимальное значение частоты вращения винтов зависит как от перерабатываемой мощности, состава ГЭК, скорости и осадки судна, так и от вальности установки [4], так как отрицательный эффект засасывания диаметрального гребного винта (одновальная установка) обычно превышает аналогичное бортового

винта (двухвальная установка) согласно следующей зависимости

$$\Delta t = 0,25\delta^2 - 0,054\delta + 0,064,$$

где  $\Delta t$  – изменение коэффициента засасывания при диаметральной расположении винта по сравнению с бортовым винтом;  $\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения судна.

В результате действия этих факторов (двух условно негативных и одного условно положительного) общий баланс по энергетической эффективности гребных винтов оказывается не в пользу одновальной установки. В частности, при диаметральной установке гребного винта (одновальная установка) в рамках речной осадки судна типа «Валдай» 3,60 м его пропульсивный коэффициент снижается до 5-процентных пунктов по сравнению с бортовым расположением винта (двухвальная установка). Кроме того, расчеты показали, что снижение эффективности «морских» гребных винтов (с параметрами, исходя из морской осадки) при работе их в речных условиях (при речной осадке) существенно (до 2 раз) превышает тот «выигрыш», который «морские» винты могли бы иметь при работе в море по сравнению с винтами, спроектированными исходя из речной осадки.

В связи с этим для судов проекта 01010 предпочтение было отдано установке на базе двух дизель-редукторных агрегатов с частотой вращения гребных винтов фиксированного шага 255 мин<sup>-1</sup> при их диаметре, предельном для речной осадки. Такой вариант главного энергетического комплекса позволил отчасти совместить преимущества одновальной установки в части ее массогабаритных показателей с большей энергетической эффективностью двухвальной установки. В рамках предельной осадки судна в реке пропульсивный коэффициент гребных винтов такой установки составил 54,7 %. Для обеспечения аналогичной эффективности одновальной установки речная осадка судна должна была бы быть не менее 4,1 м.

Рассмотренные соображения и решения подтвердили свою актуальность и для других судов смешанного плавания нового поколения, в частности типа

«Русич» (проект 00101), «Хазар» (проект RSD19) и «Нева-Лидер» (проект RSD49), который в настоящее время является наиболее массовым судном смешанного плавания нового поколения.

Основой энергетических установок проекта RSD49 также являются два дизель-редукторных агрегата, а их движительный комплекс выбирался на основе анализа возможностей пяти вариантов: с двумя открытыми винтами фиксированного шага (ВФШ), с двумя ВФШ в насадках, с одним открытым ВФШ, с одним открытым винтом регулируемого шага (ВРШ) и с одним ВРШ в насадке [3]. В конечном итоге проектировщик (ЗАО «Морское Инженерное Бюро») отдал предпочтение движительному комплексу аналогичному комплексу проекта 01010 – с двумя открытыми гребными винтами фиксированного шага.

В части компактности энергетических установок ЗАО «Морское Инженерное Бюро» пошло еще дальше и на ряде судов (проекты 005RSD03, 006RSD02, 006RSD05 и 007RSD07) использовало в качестве двигателей полноповоротные винторулевые колонки с механическим приводом винтов фиксированного шага, что позволило существенно (до 20 %) сократить размеры машинного отделения [3].

Таким образом, в рамках Единой водной транспортной системы страны для судов смешанного пла-

вания нового поколения предпочтительнее использовать двухвалльные дизель-редукторные энергетические установки с параметрами винтов фиксированного шага, оптимальными при речной осадке судов.

#### Литература

1. Астафьев, Н. Первенец российского торгового флота – событие национального масштаба / Н. Астафьев // Водник Северо-Запада. – 2002. – № 1 (94952).
2. Баев, А. С. Северо-Западное пароходство: основа компании – флот. История и перспективы / А. С. Баев // Морской вестник. – 2002. – № 4.
3. Егоров, Г. В. Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного река-море и внутреннего плавания / Г. В. Егоров, А. Г. Егоров // Судостроение. – 2018. – № 4. – С. 9–16.
4. Проектирование судов внутреннего плавания / Н. К. Дормидонтов, В. Н. Анфимов, П. А. Малый [и др.]. – Ленинград : Судостроение, 1974. – 335 с.
5. Большая энциклопедия транспорта. Том 6. Речной транспорт / под редакцией А. С. Бутова, А. М. Зайцева. – Санкт-Петербург : Элмор, 1998. – 312 с.

*A.S. Bayov*

*St. Petersburg State Marine Technical University*

#### INNOVATIONS IN NEW GENERATION MIXED NAVIGATION SHIPS ENERGY PERFORMANCE

Features of mixed navigation ships of new generation and history of their construction are described. Opportunities of one-shaft and two-shaft ship power installations and arguments in favor of their use of the main power complexes on the basis of two diesel gear-reduction units with parameters of screw shafts considering ship' draft on mixed navigation ships of new generation of are discussed.

Ships of new generation, one-shaft and two-shaft installations, the main power complex, propulsive factor.