

УДК 629.5.01

Г.В. Егоров

**О СОЗДАНИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ «СВЕРХПОЛНЫХ» ГРУЗОВЫХ СУДОВ  
СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ И ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

*Обоснован выбор и разработана концепция судна смешанного река-море и речного плавания с большим коэффициентом общей полноты. Приведены результаты анализа путевых условий. Определен наиболее оптимальный вариант пропульсивного комплекса, формы обводов и коэффициента общей полноты. Выполнена проработка концепта для работы на сжиженном природном газе (СПГ). Предложена линейка «сверхполных» судов, показана их практическая эффективность.*

**Ключевые слова:** судно смешанного река-море плавания, речное судно, проектирование, основные характеристики, путевые условия, пропульсивный комплекс, коэффициент полноты, СПГ, экономика.

*Обґрунтовано вибір і розроблено концепцію судна змішаного ріка-море і річкового плавання з великим коефіцієнтом загальної повноти. Наведено результати аналізу путьових умов. Визначено найбільш оптимальний варіант пропульсивного комплексу, форми обводів і коефіцієнта загальної повноти. Виконано опрацювання концепту для роботи на зрідженому природному газі (ЗПГ). Запропоновано лінійку «понадповних» суден, показано їх практичну ефективність.*

**Ключові слова:** судно змішаного ріка-море плавання, річкове судно, проектування, основні характеристики, путьові умови, пропульсивний комплекс, коефіцієнт загальної повноти, ЗПГ, економіка.

*The choice is grounded and the concept of river-sea and river navigation vessel with big block coefficient is developed. Results of way conditions analysis are set. The most optimal option of propulsive complex, hull forms and block coefficient are defined. Workup of liquefied natural gas (LNG) concept is executed. Line-up of «superfat» vessels is proposed, practical efficiency is shown*

**Keywords:** river-sea vessel, river vessel, design, main characteristics, way conditions, propulsion complex, block coefficient, LNG, economy.

Сегодня наиболее заметным явлением в водотранспортной отрасли является массовая постройка необычных для всей практики мирового судостроения «сверхполных» танкеров смешанного река-море плавания проекта RST27 и созданных на их базе комбинированных судов (танкеров-площадок) проекта RST54 [12; 19].

© Егоров Г.В., 2016

Действительно, трудно не заметить, как за три года отечественными заводами было поставлено 41 судно этих проектов, еще 8 находятся в постройке.

Такие темпы и такая массовая серия были характерны для лучших периодов советского судостроения и это, конечно, очень достойное сравнение для сегодняшних российских верфей [21].

Британское Королевское общество корабельных инженеров RINA в число лучших судов года в мире дважды включало проект RST27 (Significant Ships of 2012 и Significant Ships of 2013), что само по себе случается очень редко, а в 2014 году и проект RST54 (Significant Ships of 2014). Были спущены Окской судовой верфью 8 июня 2016 года, а заводом «Красное Сормово» 19 августа 2016 года очередные танкеры проекта RST27.

Однако не только увеличенный коэффициент полноты является особенностью этого нового поколения танкеров и сухогрузов, но и ряд других принципиально важных характеристик, также полученных Морским Инженерным Бюро в той или иной форме в научных исследованиях 2001-2015 годов и использованных в новых концептах: обоснование главных размерений, выбора формы носовой и кормовой оконечностей, количества и типа движителей, способов формирования конструкции, особенностей архитектуры, снижения надводного габарита, нестандартного объединения функций судов, расширения типов предполагаемых к перевозке грузов и т.п.

Именно системный характер концептуального проектирования позволил дать такой заметный практический выход.

**Целью** статьи является обобщение главных и определяющих результатов научных исследований в приложении к строящимся и предполагаемым к постройке судам смешанного и речного плавания для внутренних водных путей и прибрежных морей.

Полученные в эти годы теоретические результаты [1; 2; 3; 8-11; 17; 18; 22] позволили Морскому Инженерному Бюро в 2011 году предложить экспертной группе международной транспортной группы UCL Holding, работавшей под руководством Ришата Багаутдинова, концепт танкера смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RST27 типа «ВФ танкер» со «сверхполными» обводами с **коэффициентом общей полноты 0,932**. Такой танкер, сохраняя по району плавания класс R2 и возможность круглогодичной эксплуатации как у танкера типа «Армада», получил существенно увеличенную грузоподъемность в реке – дедвейт при осадке 3,60 м – 5420 тонн (против 4700 тонн у проекта RST22), что сделало его уникальным речным судном при таком же дедвейте в море 7000 тонн, как у универсальных танкеров проектов RST22, RST22M более раннего поколения.

Таким образом, произошло редкое событие в современном отечественном гражданском судостроении, когда научный результат был полу-

чен самостоятельно и до появления конкретного заказа на постройку, а затем вполне успешно был реализован в виде большой серии судов.

Но в действительности это был вовсе не один шаг и не гениальное одномоментное предвидение, а вполне классическое научное исследование, с получением промежуточных выводов на каждом этапе НИР.

**А. Принцип максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна).**

Исследованиями, проведенными Бюро, было доказано, что реальный выбор основных элементов судна смешанного река-море и внутреннего плавания **определялся путевыми условиями**, а также стратегией будущего судовладельца, его позицией на рынке, приверженностью к тем или иным направлениям перевозок и типам грузов. При этом для танкеров, как правило, оптимальными являлись решения, обеспечивающие в заданных условиях **максимальную** грузоподъемность. У сухогрузных судов применялся также выбор размеров по принятой партионности (3000 тонн, 5000 тонн) на заданную осадку.

Анализ подобных альтернатив позволил выстроить параметрический ряд ССП, объективно востребованных отечественными судовладельцами, и на его основе разработать в Морском Инженерном Бюро проекты новых судов – концептов XXI века [5-8; 12-16; 19; 24].

В состав данной сетки проектов вошли востребованные на современном российском рынке следующие основные классы судов смешанного и внутреннего плавания (причем, как самоходных, так и составных – барже-буксирных составов):

- «Волго-Балт макс» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями Волго-Балтийского водного пути (ВБВП), в основном радиусами поворота и размерами рабочих камер шлюзов ВБВП, и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 5000-6000 т. Габариты и повышенная управляемость за счет полноповоротных винто-рулевых колонок и подруливающих устройств позволяют работать по Волге, вплоть до Астрахани.

- «Волго-Дон макс»/ «Днепр макс» – класс, который определяется габаритными размерами шлюзов ВДСК и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 4200-5500 т (нижнее значение относится к классам РС R1 и ББС, верхнее – к классам РРР «М-ПР 2,5»). Судно «Волго-Дон макс» класса может эксплуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» класса. В силу близких размеров шлюзов суда «Волго-Дон макс» класса и «Днепр макс» класса имеют одинаковые главные характеристики.

- «ББК макс» – класс, размеры которого определяются путевыми условиями Беломорско-Балтийского канала (ББК) и имеет максимально возможную для характеристической в реке осадки 3,60 м грузоподъемность 2700-3000 т. Предполагает эксплуатацию на линиях, соединяющих речные порты и порт Беломорск через Беломорско-Балтийский канал, с возможностью выхода в Белое море. Судно «ББК макс» класса может

експлуатироваться на линиях судов «Волго-Балт макс» и «Волго-Дон макс» классов.

- «Лена» – класс, габаритные размеры которого определяются путевыми условиями реки Лена, а также путевыми условиями от возможного завода-строителя до выхода в море (например, от волжских верфей через ВБВП).

**Самый востребованный класс судов водного транспорта (70 % значимых грузовых судов, построенных в XXI веке) – суда «Волго-Дон макс» класса.**

**Б. Сколько должно быть винтов на судне «Волго-Дон макс» класса?**

Как известно, значительная часть судов внутреннего плавания и все суда смешанного река-море плавания (ССП), построенные в советское время, имели двухвальные установки. При этом практически все рейнские речные суда и европейские транспортные суда прибрежного плавания имеют один винт.

Соответственно, вопрос о том, какой пропульсивный комплекс (ПК) устанавливать на отечественных ССП нового поколения, был дискуссионным. Соответственно, потребовал научно обоснованного решения.

Главным преимуществом ПК с одним винтом является относительно меньшая стоимость судовой энергетической установки (СЭУ) как закупочная и монтажная при строительстве, так и с точки зрения эксплуатационных расходов по обслуживанию. Двухвинтовой ПК обеспечивает требуемую для стесненных условий реки маневренность, более надежен.

В качестве объекта исследования были выбраны обводы «Волго-Дон макс» класса судна нового поколения, разработанные Морским Инженерным Бюро. При этом было обращено внимание на отношение длины к ширине концептов, превышающее 8,3; необходимость эксплуатации судна в широком диапазоне осадок (от 2,8 м до 4,6 м), соответственно отношение ширины к осадке меняется от 3,5 до 5,9, причем в реке расчетная осадка соответствует отношению  $B_{WL}/T = 4,5$  и, наконец, коэффициент общей полноты около 0,90 [16; 25].

При таких ограничениях и соотношениях главных размерений значительно уменьшается предельно допустимое гидравлическое сечение судовых движителей, ухудшаются условия подтекания воды к винтам, остро стоит вопрос об эксплуатационной надежности пропульсивного комплекса, поэтому классических рекомендаций было явно недостаточно.

Рассматривались следующие варианты ПК:

**Вариант 1.** Двухвальная установка, состоящая из двух среднеоборотных дизелей (СОД) и реверс-редукторов с работой на открытые винты фиксированного шага (ВФШ). Электростанция комплектуется из трех дизель-генераторов (ДГ), каждый из которых обеспечивает ходовой режим.

**Вариант 2.** Двухвальная установка, аналогичная варианту 1, с двумя ВФШ в направляющих насадках.

**Вариант 3.** Одновальная установка с открытым винтом регулируемого шага (ВРШ). Электростанция комплектуется из двух ДГ и валогенератора (ВГ). ВГ предусматривается только как источник электроэнергии.

**Вариант 4.** Одновальная установка, аналогичная 3, с ВРШ в направляющей насадке.

По результатам проработки для вышеперечисленных вариантов были определены расчетные мощности ГД при заданных скоростях и суточные расходы топлива (тяжелого и дизельного) на ходу в полном грузу в морских условиях.

Сопоставление результатов эксперимента и численного расчета методами вычислительной гидромеханики с результатами расчета полного сопротивления судна методом Холтропа-Меннена, который получил большое распространение в практике проектирования, представлены на рисунке 1.

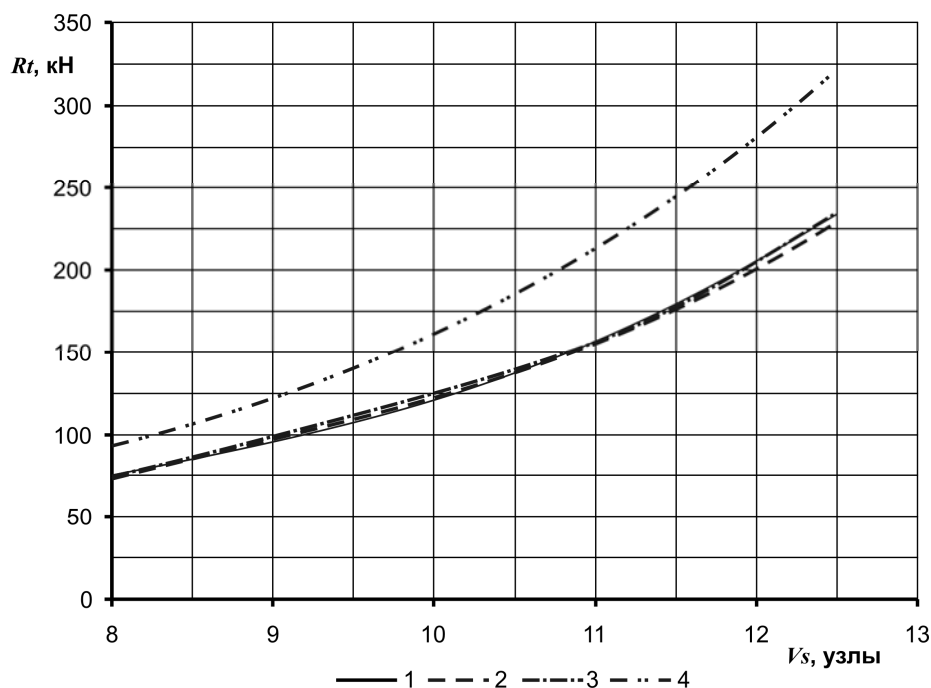


Рис. 1. Сопоставление полного сопротивления судна «Волго-Дон макс» класса:  
1 – модельный эксперимент; 2, 3 – расчет численными методами гидродинамики; 4 – расчет методом Холтропа-Меннена

Статистический метод, несмотря на тщательно подготовленные данные о геометрических характеристиках корпуса, не обеспечил получение полного сопротивления судна с достаточной точностью. Использование же численного моделирования, напротив, обеспечило получение результатов, весьма близких к результатам модельных испытаний.

Для наглядного отображения сравнительной топливной эффективности всех вариантов ПК основные результаты расчетов – пропульсивная мощность  $N_E$  (т.е. расходуемая на движение) и сумма денежных издержек на топливо  $C$  за сутки ходового времени приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Показатели топливной эффективности при  $V_s = 11$  уз.*

Номер п/п	Характеристика	Вариант 1 (2 ВФШ)	Вариант 2 (2 ВФШ в НН)	Вариант 3 (1 ВРШ)	Вариант 4 (1 ВРШ в НН)
1	Эффективная мощность $N_E$ , кВт	2x792 = 1584	2x739 = 1478	1793	1735
2	Относительная эффективная мощность $\bar{N}_E$ , %	107,2	100,0	121,3	117,4
3	Затраты на топливо в течение суток ходового времени $C$ , USD/сут.	3154	2964	3224	3119
4	Относительные затраты на топливо в течение суток ходового времени $\bar{C}$ , %	106,4	100,0	108,8	105,2

Также следует отметить, что варианты с винтами в направляющих насадках **Б** и **Г** показали значительное превосходство над, соответственно, вариантами **А** и **В** с открытыми винтами. Это объясняется особенностями работы тяжело нагруженных гребных винтов на судах рассматриваемого типа. Совокупное применение ВРШ в направляющей насадке и ВГ позволяет **варианту Г** по топливной эффективности занимать 2-е место.

В целом, учитывая уровень точности расчетов на настоящем этапе, можно считать, что **варианты Г** и **А** по топливной эффективности равноценны.

Качественный анализ результатов выполненной проработки свидетельствует о том, что наибольшее влияние на топливную эффективность проектируемого судна оказывает тип движителя, а в рамках одного

типа – площадь живого сечения  $A_0 = \pi D_p^2 / 4$ , от которой зависит степень нагрузки. Так, величина  $A_0$  при переходе от двухвального **варианта Б** к одновальному **варианту Г** уменьшается от 9,81 м<sup>2</sup> до 6,60 м<sup>2</sup> (на 32,7 %), при этом пропульсивная мощность при 11 узлах возрастает с 1478 кВт до 1735 кВт (на 17,4 %).

По этой причине для повышения топливной эффективности рекомендуется применять винты в насадках, а также выполнить проектные работы, направленные на увеличение диаметра гребного винта, независимо от того, какой вариант пропульсивного комплекса будет выбран. Однако для судна данного типа основная сложность установки винтов повышенного диаметра связана с необходимостью исключить подсос воздуха при ходе в балласте.

Итак, для «Волго-Дон макс» класса оптимальным с позиций топливной эффективности является **вариант двухвального пропульсивного комплекса с гребными винтами фиксированного шага в направляющих насадках (например, винто-рулевые колонки).**

**В. Какая форма носовой оконечности должна применяться на судне «Волго-Дон макс» класса?**

Как следует из предыдущих рассуждений, для судна «Волго-Дон макс» класса оптимальной является кормовая часть санной формы, приспособленная к двум винто-рулевым колонкам (ВРК) в качестве единого средства движения и управления (или к двум винтам фиксированного шага в насадках с двумя рулями).

Соответственно, следующим вопросом при отработанной форме кормы был вопрос о выборе формы носовой оконечности.

В исследованиях [16; 23] были рассмотрены три варианта теоретического корпуса судна смешанного река-море плавания:

Вариант № 1 – носовые обводы с наклонным форштевнем – привычный классический вариант для отечественных судов смешанного и внутреннего плавания;

Вариант № 2 – бульбообразные носовые обводы;

Вариант № 3 – цилиндрические носовые обводы.

На рисунке 2 представлены результаты расчетов потребной мощности на винте  $N_p$  и располагаемая мощность 1020 кВт для всех вариантов корпуса. Как видно из рисунка, наибольшую скорость хода судна при заданной располагаемой мощности обеспечивает вариант корпуса № 2. Вместе с тем, в границах исследуемого диапазона 9-12 узлов наименьшие затраты мощности требуются для варианта № 3, что обеспечивает лучшие экономические показатели в эксплуатации.

Согласно полученным результатам численных расчетов буксировочного сопротивления, вариант корпуса № 1 с наклонным форштевнем имеет в исследованном диапазоне скоростей наибольшее сопротивление, вариант № 3 с цилиндрическими обводами носа – наименьшее.

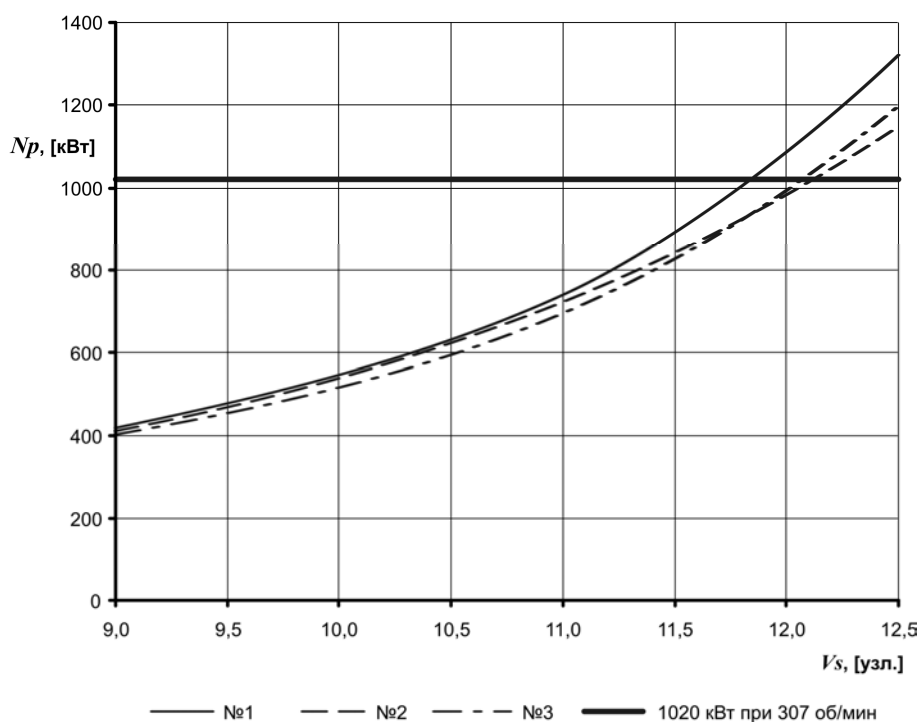


Рис. 2. Потребная и располагаемая мощность в зависимости от скорости

Вариант корпуса № 2 с бульбообразными носовыми обводами занимает в пределах диапазона промежуточное положение, кривая его сопротивления у нижней границы диапазона ближе к варианту № 1, у верхней – смещается к кривой варианта № 3 и при скорости около 12 узлов пересекает ее. При скоростях свыше 11,8 узлов вариант корпуса № 2 имеет наименьшее буксировочное сопротивление. Ходовые качества судна в полной мере отражают приведенную картину по буксировочному сопротивлению.

Так как эти результаты получены для судна смешанного река-море плавания с характерными соотношениями главных размерений, в них отражены особенности этого типа судов и условия применения на них носовых обводов трех рассмотренных вариантов.

Итак, исследования с помощью методов вычислительной гидромеханики оптимальной формы носовых обводов для судна «Волго-Дон макс» класса нового поколения (с коэффициентом общей полноты около 0,90 и кормой в форме «саней») позволили сделать следующие выводы:

1. В заданном диапазоне скоростей хода 9-12 узлов корпус с **цилиндрическими носовыми обводами** имеет лучшие показатели по критерию транспортной работы судна на единицу мощности, т.е. по экономическим показателям.



2. Наибольшую скорость полного хода 12,11 узла при заданной мощности (две ВРК мощностью на гребных валах по  $1200 \cdot 0,85 = 1020$  кВт) обеспечивает корпус с бульбообразными носовыми обводами. Скорость полного хода судна с цилиндрическими носовыми обводами составляет 12,07 узлов, с наклонным форштевнем – 11,85 узлов.

**Г. Максимально возможная «полнота» обводов судов.**

Чем больше водоизмещение судна, тем больше его дедвейт – это как раз понятно всем, но при этом судно должно двигаться с приемлемой скоростью и с нормальным (вписывающимся в экономику) расходом топлива, иметь достаточные мореходные свойства (суда река-море плавания, причем с возможностью работы в Черном, Каспийском, Балтийском, Средиземном морях) и достаточную ледопроездимость (ледовая проводка в Ростов-на-Дону, Астрахань, Санкт-Петербург).

Как известно, наиболее востребованными в России в настоящее время судами смешанного плавания являются грузовые суда «Волго-Дон макс» класса. ССП этого класса, построенные до XXI века, имеют корпуса с коэффициентом общей полноты  $C_B = 0,84-0,85$ , относительной длиной цилиндрической вставки  $\ell_{PMB}$  до 0,60, носовой оконечностью в виде «острой ложки» и кормовой в виде «килеватой ложки». Исследование обводов относительно полных судов проводилось неоднократно, но количественные решения завершались корпусами с  $C_B$  до 0,88 (!!!!).

Однако обводы корпусов нового поколения таких судов (проекты Морского Инженерного Бюро 005RST01, 006RSD02, 006RSD05, 007RSD07, RSD19, RSD49, RST22, RST22M, строительство которых началось в первом десятилетии XXI века) уже отличались более полными обводами ( $C_B = 0,88-0,90$ ), более протяженной цилиндрической вставкой ( $\ell_{PMB} = 0,68-0,70$ ), что позволило, несмотря на увеличение толщин и рост массы металлического корпуса, обеспечивать дедвейт в реке при осадке 3,60 м около 4700-5000 тонн.

Ранее создание таких полных судов представлялось бы полным абсурдом и отвергалось, как противоречащее теории и, особенно, результатам модельных испытаний, ориентированных на соотношения главных размерений, принятых у морских судов.

Однако эффективная эксплуатация с 2001 года более 60 судов (проекты Морского Инженерного Бюро и ВКПБ) с такими характеристиками полностью подтвердила принятые принципиальные решения. Иных судов «Волго-Дон макс» класса отечественные судовладельцы в итоге просто не заказывали, да это и правильно, так как они бы гарантированно проиграли по экономике успешно работающим «Армадам», «Гейдарам» и «Новгородам».

**Поэтому и возник вполне закономерный вопрос – а какой предел увеличения коэффициента общей полноты для судна смешанного река-море плавания?**

Для этого был специально разработан теоретический корпус судна с рекордным коэффициентом общей полноты 0,932 [11; 22]. Применена **бульбообразная форма носовой оконечности**, кормовая оконечность – транцевая, с полутоннелями и скегом. На начальном этапе моделирование буксировочных испытаний выполнялось путем решения уравнений Рейнольдса конечно-объемным методом в расчетной области, внутрь которой помещена 3D модель корпуса судна. Уравнения движения жидкости замкнуты при помощи статистической  $k-\epsilon$  модели турбулентности для случая несжимаемой жидкости. Расчеты выполнялись в масштабе натуре с намерением избежать влияния масштабных эффектов и процедур пересчета с модели на натуре.

Следует обратить внимание, что на интересующих нас скоростях около 10 узлов, основную роль играет трение и сопротивление формы. Волновое сопротивление при этом незначительно, но уже после 10 узлов роль этой составляющей резко возрастает. Результаты проверочных буксировочных испытаний в двух независимых друг от друга бассейнах показали, что величины коэффициента остаточного сопротивления при осадке судна в грузу и в балласте практически совпадают до значения числа Фруда  $\sim 0,13$ .

Но конечно главным результатом является необходимая для движения судна с заданной реальной скоростью удельная эффективная мощность (на  $1 \text{ м}^3$  объемного водоизмещения) – т.е. те энергозатраты, которые приходится на 1 единицу груза.

На рисунке 3 дано такое сравнение удельной эффективной мощности от скорости для «сверхполного» судна, имеющего рекордный коэффициент общей полноты  $C_B = 0,932$  (проект RST27) с судном-прототипом с  $C_B = 0,88$  (проект RST25).

Итак, в грузу величина буксировочной мощности «сверхполного» судна отличается всего лишь на  $\sim 4\%$  от таких данных судна с коэффициентом полноты около 0,90. В балласте буксировочная мощность  $P_E$  танкера с большой полнотой обводов выше, чем у танкера с нормальной полнотой и при проектной скорости  $V_S = 10,5$  узлов разница составляет  $\sim 80 \text{ кВт}$  (около  $13\%$ ).

**Таким образом, теоретически было доказано, что для типичных для судна смешанного река-море плавания скоростях 10 узлов влияние коэффициента полноты (для диапазона 0,88-0,93) незначительно.**

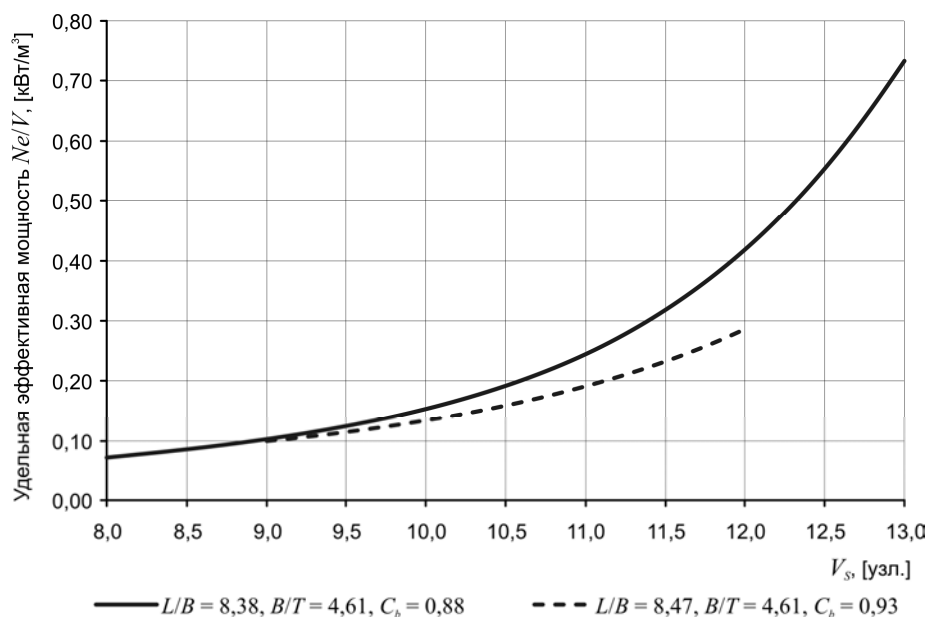


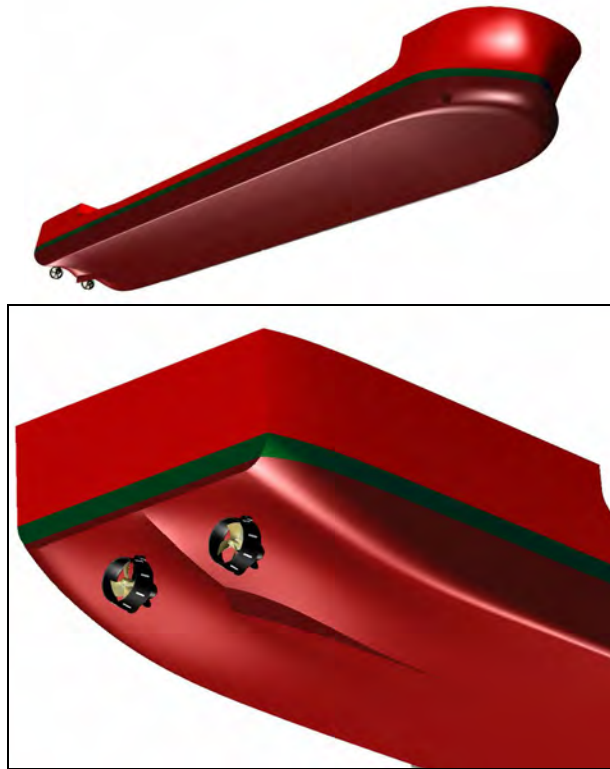
Рис. 3. Залежність удельної ефективної потужності від швидкості для судів з різною повнотою обводів

Вывод был принципиально важен и означал, что можно увеличивать коэффициент общей полноты для судов смешанного река-море плавания до 0,932. Это и позволило дать «старт» для проекта RST27 – судна «Волго-Дон макс» класса со «сверхполными» обводами, с бульбообразной носовой оконечностью и с двумя винтами фиксированного шага в насадках (полноповоротные ВРК в полутоннелях) – см. трехмерное изображение обводов судна этого проекта на рисунке 4.

#### Д. Другие решения, определившие коммерческую привлекательность нового поколения судов смешанного плавания.

Перечень других определяющих результатов НИР по ФЦП РГМТ в приложении к строящимся и предполагаемым к постройке судам смешанного и внутреннего плавания для российских внутренних водных путей и прибрежных морей [1; 4; 7; 9-16; 19; 20]:

- расширения спектра перевозимых грузов – проектные негабаритные и тяжеловесные грузы, химия, сочетание сухих и наливных грузов на одном судне (например, в одну сторону – нефтепродукты, в другую – щебень – см. рисунок 5);



*Рис. 4. Трехмерное изображение «сверхполных» обводов судна «Волго-Дон макс» класса*



*Рис. 5. Перевозка щебня на комбинированном судне проекта RST54.  
Автор фотографии: Александр Конов*

- в соответствии с предполагаемыми направлениями перевозок и оценкой возможных потерь от простоев в ожидании погоды выбран класс РС R2 для судов и барже-буксирных составов смешанного река-море пла-

вания «Волго-Дон макс» класса (для обеспечения постоянной эксплуатации в море, в том числе вокруг Европы), класс PPP «О-ПР 2.0» для судов и барже-буксирных составов «Волгомакс» класса (минимальный класс для эксплуатации в весенне-летний сезон в Финском заливе и Азовском море), класс PPP М-СП 3.5 для судов северных парокондуктов (позволяет эксплуатировать суда в условиях морского перехода по Северному морскому пути от полуострова Таймыр до полуострова Чукотка в июле – сентябре), для танкеров море-река типа новых концептов – стандарт прочности, соответствующий требованиям более высокого класса R1 в эксплуатации, что позволит работать в зимний сезон на перевозках растительных масел и «легкой» химии, например, в Индийском океане и вдоль побережья Африки;

- в соответствии с накопленным опытом работы выбран класс Ice1 (Лед 20-Лед 30) у судов смешанного плавания, предназначенных для работы в Азовском и Каспийском морях зимой, класс Ice2 (Лед 40) – у судов сибирских парокондуктов для обеспечения безопасного возврата судна после осуществления «северного» завоза на базу, Ice2 – для работы в Балтийском море зимой, Ice3 – для работы на порт Архангельск зимой;

- за счет роста эффективной высоты сечения (применение развитых непрерывных надпалубных конструкций – тронка и комингсов высотой 3,2-3,8 м) увеличена грузоподъемность и снижены расходы в отечественных портах при обеспечении достаточной для выбранного класса общей продольной прочности без увеличения толщин подавляющего большинства конструкций в сравнении с минимальными толщинами по Правилам РС;

- применение продольной системы набора палубы, бортов и днища в средней части, что в сочетании с увеличением поперечной шпации и одновременном уменьшении шпации продольного набора обеспечивает более полное участие пластин корпуса в общем изгибе и лучшее восприятие локальных нагрузок при швартовках, прохождении каналов и шлюзов, сохранение приемлемого внешнего вида;

- сохранение толщин настилов и обшивок на уровне минимальных с целью минимизации массы металлического корпуса, решения задач обеспечения местной прочности и устойчивости за счет рационального сочетания элементов основного и рамного набора;

- назначение одинаковых, по возможности, толщин обшивки, стенок рамного и холостого набора для обеспечения равной долговечности по износу;

- проектирование конструкции борта, днища на восприятие эксплуатационных нагрузок, большинство которых считаются до сих пор «непроектными» (контакты с гидросооружениями, грунтом и т.п.);

- с целью увеличения фактической усталостной долговечности проектирование «гладких» конструкций поясков эквивалентного бруса с минимальным количеством технологических вырезов, приварышей и т. п.,

использование рационально исполненных узлов пересечения связей и плавного изменения площадей продольных связей корпуса по длине;

- исключение для танкеров внутреннего набора в грузовых танках (наружный набор верхней палубы и тронка, поперечные переборки с горизонтальными гофрами);

- за счет применения ВРК обеспечить требуемую управляемость и ходкость, увеличить длину грузовой зоны, уменьшить примерно на 20 % размеры МО, сократить затраты на монтаж и предполагаемые затраты на ремонт и обслуживание;

- за счет рационального распределения балластных и сухих отсеков в двойных бортах и двойном дне получить положительное решение по требованиям Правила 25А МК МАРПОЛ 73/78 и убрать продольную переборку в ДП, снизив тем самым металлоемкость корпуса;

- применение составных судов, когда самоходные суда-толкачи толкают баржи-приставки.

**Е. Обоснование применения газа в качестве топлива на судне «Волго-Дон макс» класса.**

Следует отметить, что еще не все перспективные результаты исследований Морского Инженерного Бюро были реализованы на практике. Например, для танкеров проекта RST27 был разработан концепт проекта применения природного газа (ПГ) в качестве основного судового топлива [18].

В действительности, существует несколько способов решения проблемы соответствия требованиям конвенции МАРПОЛ по содержанию вредных газов, в том числе использование малосернистого дизельного топлива; использование тяжелого топлива (ТТ) при условии оборудования судов скрубберами – системами очистки выхлопных газов от окислов серы; использование в качестве топлива природного газа (ПГ).

Применение малосернистого дизельного топлива (ДТ) является неоправданным из-за его высокой цены по сравнению с ТТ и ПГ. Использование скрубберов на танкерах проекта RST27 является нецелесообразным, т.к. размещение скрубберов, предлагаемых к поставке различными фирмами (габариты агрегата порядка 5400 x 2700 x 1700), потребует кардинального изменения конструкции надстройки, шахты машинного отделения (МО) и расположения механизмов в МО. Кроме того, независимо от применяемого жидкого топлива, для удовлетворения норм по выбросам NOX Tier III, которые вступили в силу с 01.01.16, потребуются установка дополнительных систем очистки выхлопных газов от окислов азота.

**Поэтому применение ПГ в качестве основного судового топлива для танкеров проекта RST27 для решения проблемы соответствия требованиям по выбросам в атмосферу обладает принципиальными преимуществами:**

1. Позволяет полностью исключить выбросы серы, существенно сократить выбросы оксидов азота (на 85 %) и углерода (на 25 %), а также твердых частиц.

2. Уровень выбросов окислов азота (NOX), в случае применения природного газа, будет соответствовать требованиям МАРПОЛ Tier III без применения дополнительных систем очистки газов.

Наиболее важным фактором, определяющим возможность применения СПГ в качестве топлива на судах смешанного плавания, является обеспеченность снабжения судов газовым топливом в необходимом объеме.

Для обеспечения применения на танкере проекта RST27 ПГ в качестве топлива был осуществлен:

- выбор главных двигателей для работы на ПГ с сохранением концепции прямой передачи крутящего момента на винт;
- выбор и размещение вспомогательного оборудования, необходимого для работы главных двигателей на ПГ;
- проверка возможности применения ПГ для паровых котлов и дизель-генераторов;
- выбор способа хранения ПГ, выбор емкостей для хранения и их размещение на судне;
- обеспечение безопасной эксплуатации танкера при наличии ПГ на борту.

На основании результатов расчета потребной мощности в зависимости от скорости хода судна к установке в качестве главных двигателей на проект RST27 для работы на природном газе были рекомендованы двухтопливные среднеоборотные двигатели максимальной длительной мощностью 1056 кВт при частоте 1200 мин<sup>-1</sup>. Выбранные двигатели при нагрузке 85 % обеспечивают скорость хода судна ок. 10,7 уз. на чистой воде. Необходимое передаточное число для винта будет обеспечиваться редуктором ВРК.

Что касается использования ТТ на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы ТТ при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов, окончательное решение остается за Судовладельцами, и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации судов, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

Вспомогательное оборудование, которое необходимо предусмотреть в проекте для использования природного газа, следующее: блоки газовых клапанов, по одному блоку на каждый двигатель; емкости для хранения; блоки нагревателей и испарителей газа; специальные станции приема газа с каждого борта.

Система подачи основного жидкого топлива к двигателям остается такой же, как на разработанном проекте RST27. Для подачи пилотного топлива к двигателям предусматривается дополнительная система с отдельными насосами и трубопроводами. Подача газа к блокам газовых клапанов, а затем и к двигателям в районе машинного отделения осуществляется с помощью труб с двойными стенками.

При эксплуатации двухтопливных двигателей запуск и остановка производится на ДТ, при непродолжительных остановках двигателей допускается производить пуск и остановку на тяжелом топливе. Переход на газ выполняется при работающем двигателе. При этом следует учитывать, что если двигатель работает на ТТ, то вначале производится переход на ДТ, а затем на газ. Порядок перехода с газа на ТТ такой же – в начале переход на ДТ, потом на ТТ.

Из вспомогательного газового оборудования главных двигателей, перечисленного выше, только блоки газовых клапанов должны располагаться в закрытых помещениях. Криогенные емкости, блоки нагревателей и испарителей газа, станции приема газа могут быть размещены на открытой палубе танкера в грузовой зоне. Герметическая конструкция блоков газовых клапанов позволяет размещать блоки непосредственно в объеме МО и не требует дополнительных помещений. При этом необходимо предусмотреть автономные трубопроводы вентиляции на открытую палубу внутренних пространств блоков газовых клапанов.

Расположение оборудования в МО танкера проекта RST27 позволяет разместить блоки газовых клапанов и трубопроводы без переноса какого-либо оборудования.

По соображениям увеличения автономности плавания судна и уменьшения веса емкостей для хранения газа, для рассматриваемого случая предлагается способ хранения СПГ на борту танкера в сжиженном виде (СПГ).

Главная трудность при использовании СПГ на судах – сравнительно большое пространство, требуемое для криогенных емкостей. В сравнении с нефтяным топливом равное по энергетическому содержанию количество СПГ требует примерно в 1,9 раза большего объема. С учетом теплоизоляции емкости требуемый объем возрастает примерно в 2,3 раза. В случае установки емкостей для хранения СПГ внутри корпуса судна, требуемый объем может увеличиться в 4 раза. На танкерах эту проблему удается решить размещением криогенных емкостей на грузовой палубе.

На основании предварительных расчетов расходов газа для работы механизмов энергетической установки определяются необходимые объемы криогенных емкостей в зависимости от автономности плавания танкера (см. таблицу 2).

При предварительных расчетах были приняты следующие исходные данные: процент заполнения криогенных емкостей – 98 %; низшая теплота сгорания СПГ – 49620 кДж/кг; плотность СПГ – 422 м<sup>3</sup>/кг.

Главная трудность при выполнении расчетов расхода СПГ состоит в том, что на данный момент отсутствуют международные стандарты на судовое газовое топливо. Поэтому при эксплуатации судов на СПГ следует учитывать, что расход газа будет зависеть от низшей теплоты сгорания СПГ, которая зависит от месторождения СПГ, из которого производят сжижение газа.



Таблиця 2

Объем криогенных емкостей, м<sup>3</sup>,  
в зависимости от автономности плавания

Вариант совместной работы механизмов на газе	Автономность, сут.			
	5	10	15	20
Все механизмы	133,06	266,12	399,18	532,24
Только ГД	89,35	178,70	268,06	357,41
ГД + ДГ	100,73	201,45	302,18	402,90
ГД + котлы	121,69	243,37	365,06	486,74

Применительно к проекту RST27 рассмотрены два возможных варианта применяемых криогенных емкостей: криогенные емкости LNG-Рак, поставляемые фирмой WARTSILA, и контейнер-криогенные емкости.

Предварительная проработка размещения показала, что две криогенные емкости 308 вместимостью 277 м<sup>3</sup> СПГ каждая могут обеспечить 20 суток автономности плавания танкера проекта RST27 при условии работы главных двигателей, котлов и дизель-генераторов на ПГ.

Указанные криогенные емкости можно разместить в кормовой части грузовой зоны танкера (см. рисунок 6).



Рис. 6. Расположение криогенных емкостей для хранения газомоторного топлива на танкере «Волго-Дон макс» класса

Второй вариант – использование контейнер-криогенных емкостей позволит производить доставку СПГ на судно с помощью железнодорожного или автомобильного транспорта **без выполнения бункеровочных операций классического типа**. Потребуется лишь замена емкостей.

Одним из производителей в России контейнер-криогенных емкостей является ОАО «УРАЛКРИОМАШ», который предлагает контейнер-криогенную емкость модели КЦМ-35/0,6 в размерах стандартного 40-футового контейнера, который предназначен для приема, хранения, выдачи СПГ и может быть использован как тара для его транспортировки железнодорожным, морским, речным и автомобильным транспортом, обеспечивая полную сохранность продукта при различных погодных условиях.

Способ налива и слива СПГ – верхний, слив за счет создания давления в криогенной емкости сторонним наддувом.

При принятии решения об использовании контейнер-криогенных емкостей необходимо иметь в виду следующие обстоятельства: полезный объем контейнер-криогенных емкостей потребует значительного их количества, например, для обеспечения автономности 5 суток при работе на газе главных двигателей, котлов и дизель-генераторов необходимо 4 контейнера, 10 суток – 8 контейнеров; потребуются дополнительно предусмотреть на борту судна стационарные блоки испарителей и подогревателей газа с арматурой и трубопроводами, для контроля давления подачи газа к блокам газовых клапанов; для замены контейнеров в порту, должны быть предусмотрены соответствующие грузоподъемные средства.

Контейнер-криогенные емкости можно разместить в кормовой и носовой частях грузовой зоны танкера.

Таким образом, в ФЦП по РГМТ Морским Инженерным Бюро были получены следующие принципиально важные результаты по газомоторному топливу:

1. Применение ПГ в качестве основного судового топлива на судах смешанного плавания обладает принципиальными преимуществами по сравнению с использованием малосернистого ДТ или ТТ с скруббер-системами очистки выхлопных газов от окислов серы.

2. Использование отечественного технического опыта и возможностей криогенной техники позволит за короткий срок обеспечить широкое применение СПГ на судах. Создание береговой инфраструктуры заправки судов природным газом не потребует продолжительного времени и больших капитальных затрат. По оценкам специалистов, при наличии средств на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию опытного комплекса может потребоваться не более полутора лет.

3. Что касается использования тяжелого топлива на танкерах, оборудованных для использования ПГ, то нет никакого смысла демонтировать системы тяжелого топлива при переоборудовании уже построенных танкеров. В случае строительства новых судов, окончательное решение остается за судовладельцами, и будет зависеть от предполагаемого района эксплуатации судов, а также от цен на жидкое и газообразное топливо.

**Опыт использования.** Проведенные ходовые испытания показали отличную маневренность судна и хорошие ходовые качества. Судно проекта RST27, имеющее рекордный коэффициент общей полноты 0,93,

показало на мерной линии скорость 11,7 уз. при мощности на валах 2100 кВт (0,875 от мощности главных двигателей) и осадках носом 3,2 м, кормой 3,3 м.

Обоснованно выбранная мощность главных двигателей и развитые надстройки бака и юта обеспечили мореходность в условиях волнения с высотой волны 3 % обеспеченности 7,0 м.

Результаты эксплуатации первых судов серии проекта RST27, построенных на нижегородском судостроительном заводе «Красное Сормово», навашинском заводе «Окская судовой верфь» и «Херсонском судостроительном заводе» полностью подтвердили принятые при разработке концепции новые решения.

При проектировании столь полных судов оставался открытым вопрос ледопроеходимости. Поэтому принципиально интересно мнение их капитанов после окончания ледовой кампании 2012-2013 годов:

- при плавании в балласте (с осадкой носом около 2,40 м), теплоход идет хорошо: медленно, но верно вскрывает лед, поднимая его кверху и ломая бульбом. Такая же картина наблюдается при плавании в грузу не на полную загрузку (осадка около 3,40 м);

- при плавании в полную загрузку картина несколько иная: лед не разламывается, а толкается перед собой, пока не треснет, что приводит к незначительному снижению ходовых качеств во льду;

- установка на данном проекте судов ВПК дает судну большие преимущества по сравнению с обычными судами: повредить лопасти льдом практически невозможно, т.к. винт находится в насадке; для движения назад не требуется работа винта «на задний ход», насадка просто поворачивается на 180 °, а винт как работал «на передний ход», так и работает, что также минимизирует вероятность повреждения лопастей винта; быть зажатым во льдах практически нереально, т.к. благодаря ВПК, можно в любой момент размыть пространство вокруг судна.

Что примечательно, при проводке каравана в Азовском море капитаны ледоколов предпочитали ставить суда проекта RST27 первым корпусом.

Уже в 2013 году были успешно проведены натурные мореходные испытания судна проекта RST27 под руководством Крыловского государственного научного центра, которые полностью подтвердили заявленные Морским Инженерным Бюро характеристики на волнении. На испытываемых режимах, при волнении, не превышающем 2 балла, напряжения общего изгиба судна в миделевой части от динамической составляющей волнового воздействия не превысили 5 МПа, что существенно ниже допускаемых (при плавании в штормовых условиях наблюдается незначительная вибрация и изгиб корпуса, что характерно для всех судов внутреннего и смешанного река-море плавания). Максимальные амплитуды килевой качки на волнении 2 балла при режиме работы ВПК, соответствующем 770 об./мин., не превышали 0,4 °. Максимальные амплитуды бортовой качки достигали 0,3 ° на скоростях от 8,0 до 11,4 уз. Рыскание судна

в процессе измерений менялось в пределах  $\pm 1,5^\circ$ . При всех скоростях хода величины вертикальных ускорений малы, максимальные значения не превышают  $0,04 g$ . Максимальные зарегистрированные значения амплитуд поперечно-горизонтальных ускорений при скорости хода  $V = 11,4$  узла составляли  $0,03 g$ . При плавании в штормовых условиях наиболее неблагоприятным является встречное волнение, наблюдается падение скорости. Бортовое волнение практически не влияет на движение судна.

**Развитие идеи.** На уже строящихся сериях танкеров проекта RST27 происходит существенное расширение спектра перевозимых наливных грузов, к нефти и нефтепродуктам сначала были добавлены грузы, подпадающие под общее название «растительное масло» (а среди них и компоненты биотоплива, и знаменитое сейчас пальмовое масло и т.п.), а затем и другая «легкая» химия, впрочем, требующая выполнения нормативов по непотопляемости и оборудованию, а также по покрытиям танков к химовозу типа ИМО 2.

Специальный анализ показал, что суда этих концептов соответствуют вступающим в силу новым требованиям МАРПОЛ по энергоэффективности, что позволяет строить серии и в ближайшем будущем [17].

Исходя из обводов концепта RST27, были созданы другие проекты танкеров смешанного река-море плавания (см. таблицу 3 и рисунок 7), у которых варьировались районы плавания, типы грузов и осадка в море:

- проект с усиленной речной функцией и сохранением морских задач RST12 – уменьшена высота борта с  $6,0$  м до  $5,50$  м, оптимизирован класс судна по морскому району плавания R2-RSN(4.5) с допускаемой высотой волны  $4,5$  м (у RST27 – район R2 с допускаемой высотой волны  $7,0$  м), что позволило снизить металлоемкость и увеличить дедвейт в реке при осадке  $3,60$  м до  $5632$  тонн (RST27 –  $5428$  тонн);

- проект RST12C – развитие RST12 с увеличением грузоподъемности в Каспийском море – увеличена осадка в море до  $4,54$  м, дедвейт в море составил  $8009$  тонн (RST27 –  $7030$  тонн), объем грузовых танков –  $9190 \text{ м}^3$  (RST27 –  $8274 \text{ м}^3$ ), что позволило обеспечить фактическую грузоподъемность в море на типичных для Каспия плотностях грузов  $0,84\text{--}0,86 \text{ т/м}^3$  при сохранении улучшенных характеристик в реке – дедвейт при осадке  $3,60$  м  $5580$  (RST27 –  $5428$  тонн);

- проект низкогабаритного речного танкера с возможностью выхода на рейдовые перевалочные комплексы RST35 – установлена подъемная рубка, уменьшена высота борта с  $6,0$  до  $5,0$  м, оптимизирован класс судна по району плавания класса Российского Речного Регистра М-ПП 2,5 с допускаемой высотой волны  $2,5$  м (у RST27 – морской район R2 с допускаемой высотой волны  $7,0$  м), что позволило заметно снизить металлоемкость и увеличить дедвейт в реке при осадке  $3,60$  м до  $5707$  тонн (RST27 –  $5428$  тонн), при этом применена подъемная рубка с габаритом под Ростовский железнодорожный мост;

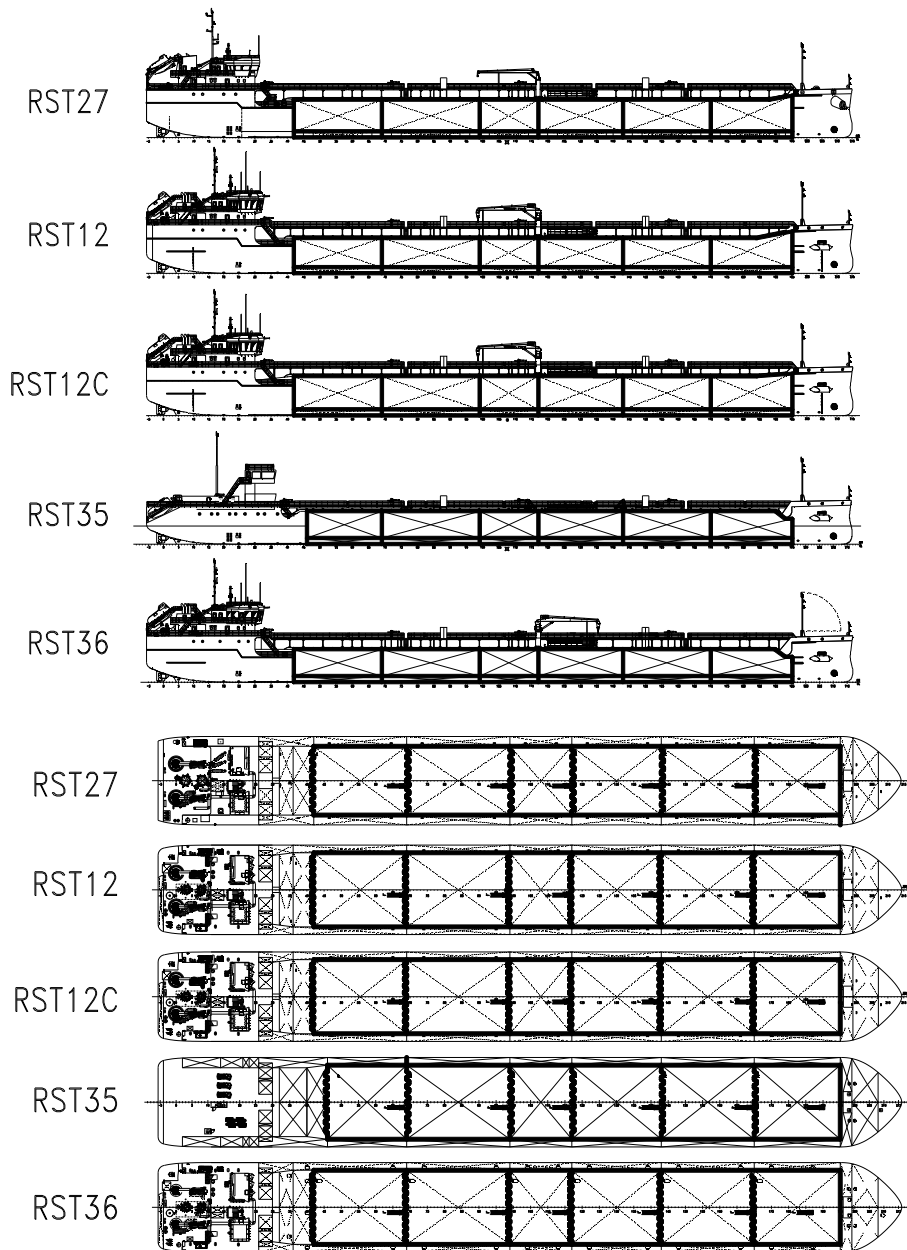
Таблиця 3

Головні характеристики «середнього» танкера с/мешинного река-море плавства

Дані:	пр. RST27 (постройка) Судний завод(фа)	RST12	RST12C	RST15	RST16
Основні характеристики					
Длина шхоловця, м	140,85	141,00	141,00	141,00	141,00
Длина между корпусными рядами $L_c$ , м	137,10	137,26	137,10	137,26	137,26
Ширина $B$ , м	16,7	16,9	16,9	16,9	16,9
Высота борта $H$ , м	6,0	5,5	6,0	5,0	5,0
Высота трюма $K_{тр}$ , м	1,45	1,50	1,50	1,50	1,50
Кубический модуль $L_{BH}$ , м <sup>3</sup>	14113	13106	14297	11915	11915
Габаритная высота до верхней кромки несущих частей от ОП, м	16,8	16,3	16,3	10,01	15,8
Осадка по ЛТБЛ $d_{лв}$ в море / $d_{лв}$ в реке, м	4,20/3,6	4,17/3,6	4,54/3,6	3,527/3,6	3,527/3,6
Дрейф: $D_{др}$ , т					
при $d = 2,95$ м (река)	3945	4130	4079	4205	4165
при $d = 3,4$ м (река)	4971	5169	5118	5244	5204
при $d = 3,6$ м (река)	5428	5632	5580	5707	5667
при $d = 4,2$ м (море)	7030	-	-	-	-
при осадке $d_{лв}$	7030	7183	8009	5728	5688
Дальность плавания в реке/ в море, сут	12/20	12/20	12/20	15	15
Скорость при осадке $d_{лв}$ , узл при % от МДМ	11,2 (85%)	810,2 (100%)	810,0 (100%)	811,0 (100%)	811,0 (100%)
Масса судна порожня $\Delta_{суд}$ , т	3453	2354	3405	2279	2319
Кубический модуль $L_{BH}'$ , м <sup>3</sup>	16113	15346	16337	14083	14154
Весовой коэффициент $\mu = \Delta_{суд}/L_{BH}'$	0,152	0,153	0,145	0,162	0,164
Дальность плавания, миль	4000	4000	4000	3600	3600

Продовження табл. 3

	8274	8075	9190	7180	7370
Объем грузовой палубы, м <sup>3</sup>	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных	6+2 отстойных
Количество грузовых танков	4650	4089	4375	3555	3615
Объем балластных танков, м <sup>3</sup>					
Класс	ISM Inc 1 R2 AUT1-ICS ICS OMBIO VCS ECO-S Oil tanker (ESP)	ISM Inc1 R2- RSN4-5) AUT1-ICS VCS ECO-S OMBIO Oil tanker (ESP)	ISM Inc1 R2- RSN4-5) AUT1-ICS VCS ECO-S OMBIO Oil tanker (ESP)	ISM M-TP 2.5 (ред. 30) A	ISM M-TP 2.5 (ред. 30) A
Допусковая масса груза 3% объемности, м	7,0	4,5	4,5	2,5	2,5
Мощность и тип Г/Д	2x1200 кВт Wartsila 6L20	2x1200 кВт Wartsila 6L20	2x1200 кВт	2x1200 кВт	2x1200 кВт
Винто-рулевой комплекс	2 BPP Schottels SRP-1012FP	2 BPP Schottels SRP-1012FP	2 BPP	2 BPP	2 BPP
Вспомогательная энергетическая установка					
Мощность ДГ, кВт	3x292	3x350	3x350	3x350	3x330
Мощность АДГ, кВт	136	150	150	136	136
Котельная установка					
Вспомогательные паровые котлы	2 x 2,5 т/ч	2 x 2,0 т/ч	2 x 2,5 т/ч	2 x 2,0 т/ч	2 x 2,0 т/ч
Углекислотные паровые котлы	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,37 т/ч	2 x 0,37 т/ч	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,37 т/ч
Тип осушающего средства	HFO (380 cSt)	HFO (380 cSt)	HFO (380 cSt)	HFO (380 cSt)	HFO (380 cSt)
Экипаж / мест, чел	12/14 + дублиан	11/14 + дублиан	11/14 + дублиан	14/15+дублиан	14/15 + дублиан



*Рис. 7. Сравнение видов «сверхполных» танкеров смешанного река-море плавания*

- проект «классического» речного танкера с возможностью выхода на рейдовые перевалочные комплексы RST36 – уменьшена высота борта с 6,0 до 5,0 м, оптимизирован класс судна по району плавания класса Российского Речного Регистра М-ПР 2,5 с допускаемой высотой волны 2,5 м

(у RST27 – морской район R2 с допускаемой высотой волны 7,0 м), что позволило заметно снизить металлоемкость и увеличить дедвейт в реке при осадке 3,60 м до 5667 тонн (RST27 – 5428 тонн).

По сути, концепт RST27 явился научным базисом для новой тенденции развития отечественной воднотранспортной отрасли по «расширению» узких мест за счет новых технических решений.

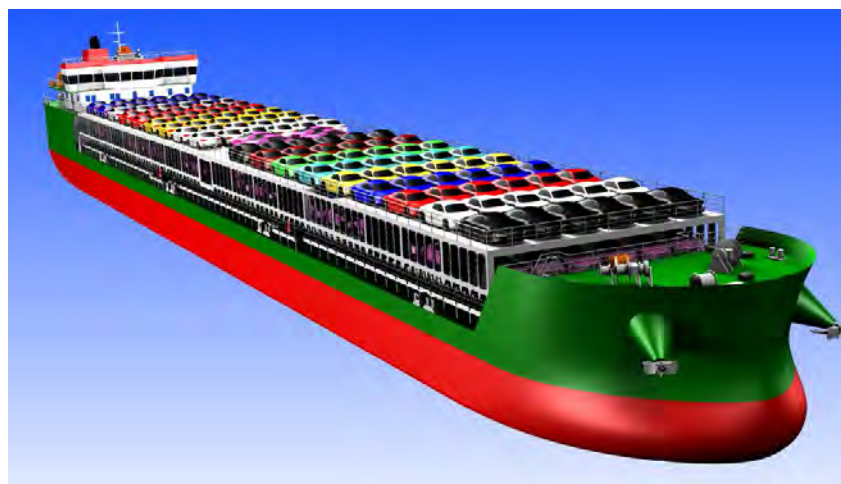
Другими словами, происходит увеличение провозоспособности за счет максимального использования фактических путевых условий (максимально возможные длина, ширина судна), а главное – за счет экстремально полных обводов, ранее не применявшихся в мировой практике.

Например, концепция комбинированных судов проекта RST54 (проект 2013 года), которые получили «сверхполные» обводы и «устьевой» класс М-ПР 2,5.

Комбинированные танкера-площадки:

- обеспечивают загрузку в обе стороны (нефтеналив – в одну и сухогрузы – в обратную);

- позволяют снизить нагрузку на автодороги за счет перевозки 270-350 легковых автомобилей, которые обычно из района Санкт-Петербурга в центральную Россию везут на грузовиках-автомобилевозах (см. рисунок 8);



*Рис. 8. Пример перевозки автомобилей на комбинированном судне проекта RST54*

- обеспечивают перевозку 120 контейнеров с массами до 36 тонн, которые недопустимы для транспортировки автопоездами по условиям максимальной нагрузки на ось, в том числе до 45 рефрижераторных контейнеров.



Перевозка нефтеналивных грузов с ограничением по температуре вспышки паров выше 60 °С осуществляется в десяти грузовых танках вместимостью 5446 м<sup>3</sup> и двух отстойных танков вместимостью 207 м<sup>3</sup>. Все танки отделены от наружной обшивки при помощи двойного дна и двойных бортов. Размеры двойных конструкций отвечают требованиям международной конвенции МАРПОЛ 73/78.

Для перевозки сухих грузов, не боящихся подмочки (металл, щебень, контейнеры и т.п.) предназначено грузовое пространство на главной палубе, имеющее ограждение высотой 2,0 м. Настил главной палубы внутри грузовой площадки рассчитан на интенсивность распределенной нагрузки 5,5 т/м<sup>2</sup>, а также на работу грейфером. В качестве основного груза предусмотрена перевозка 4700 т щебня на открытой палубе.

Перевозка контейнеров, установленных на настил главной палубы на сепарацию, осуществляется в два яруса. Предусматривается размещение тяжелых 120 TEU массой по 36 тонн, которые нельзя перевозить автопоездами. Электростанция судна позволяет также перевозить 45 рефрижераторных контейнеров.

Предусмотрена также возможность установки на судне специальных съемных кассет, образующих дополнительно две автомобильные палубы. Погрузка/выгрузка автомобилей осуществляется своим ходом при помощи береговых аппарелей. Количество перевозимых автомобилей зависит от их габаритных размеров (от 350 до 270 единиц).

Главные характеристики проектов RST54 и RST34 «сверхполных» комбинированных грузовых судов смешанного река-море плавания приведены в таблице 4 (виды см. на рисунке 9).

Концепт комбинированного судна «нефтерудовоза» проекта RST34 создавался для смешанных морских и море-река перевозок нефтепродуктов и наливных химических грузов в бортовых грузовых танках с двойным дном и двойными бортами, и сухих грузов, включая зерно – в двух центральных сухогрузных трюмах, закрываемых люковыми закрытиями. Столь сложное сочетание грузовых пространств привели к заметному росту массы судна порожнем, но за счет «сверхполных» обводов удалось реализовать принцип «5000 тонн груза» (наливного или сухого) на транзите через реку (при осадке 3,60 м)

Для этого помимо нового типа обводов применили более высокий класс по району плавания, чем на RST54, но более низкий, чем на RST27 – R2-RSN (4.5) с допускаемой высотой волны 4,5 м.

Таблица 4

Главные характеристики «сверхполных» комбинированных судов  
смешанного река-море плавания

Данные	пр. RST54	пр. RST34
1	2	3
Основные характеристики		
Длина наибольшая, м	140,85	141,00
Длина между перпендикулярами $L$ , м	140,66	137,14
Ширина $B$ , м	16,7	16,9
Высота борта $H$ , м	5,0	8,1
Кубический модуль $LBH$ , м <sup>3</sup>	11761	19301
Габаритная высота до верхней кромки несъемных частей от ОП, м	16,10	16,3
Осадка по ЛГВЛ $d_M$ в море / $d_P$ в реке, м	3,527 / 3,6	4,7 / 3,6
Дедвейт $Dwt$ , т		
при $d = 2,95$ м (река)	4262	3563
при $d = 3,4$ м (река)	5288	4602
при $d = 3,6$ м (река)	5745	5065
при $d = 4,2$ м (море)	-	6687
при осадке $d_M$	5771	7872
Автономность плавания в реке / в море, сут.	20	12/20
Скорость при осадке $d_M$ , узл. при % от МДМ	11,2 (85 %)	10,2 (100 %)
Масса судна порожнем $\Delta_{пор}$ , т	2136	2921
Кубический модуль $LBH'$ , м <sup>3</sup>	14466	21232
Весовой показатель $\mu = \Delta_{пор} / LBH'$	0,148	0,138
Дальность плавания, мили	3600	3600
Объем грузовых танков, м <sup>3</sup>	5653	6604
Количество грузовых танков	10+2 отстойных	8+1 отстойный
Объем балластных танков, м <sup>3</sup>	3435	4134
Вместимость грузовых трюмов, м <sup>3</sup>	2564 (грузовой бункер)	5916
Контейнеровместимость, TEU / FEU	120 / 45	140 / 70
Класс	✠ М-ПР 2,5 (лед 30) А	КМ Icel R2-RSN (4.5) AUT1-ICS OMBO VCS Oil / Chemical tanker type2 (ESP)
Допускаемая высота волны 3 % обеспеченности, м	2,5	4,5

Продолжение табл. 4

1	2	3
Мощность и тип ГД	2x1200 кВт Wärtsila 6L20	2x1200 кВт Wärtsila 6L20
Винто-рулевой комплекс	2 ВРК	2 ВРК
Вспомогательная энергетическая установка		
Мощность ДГ, кВт	3 x 296	3 x 296
Мощность АДГ, кВт	62	150
Котельная установка		
Вспомогательные паровые котлы	2 x 2,5 т/ч	2x2,0 т/ч
Утилизационные паровые котлы	2 x 0,3 т/ч	2 x 0,3 т/ч
Тип основного топлива	HFO (380 сСт)	HFO (380 сСт)
Экипаж/мест, чел.	12/14 + лоцман	12/14 + лоцман

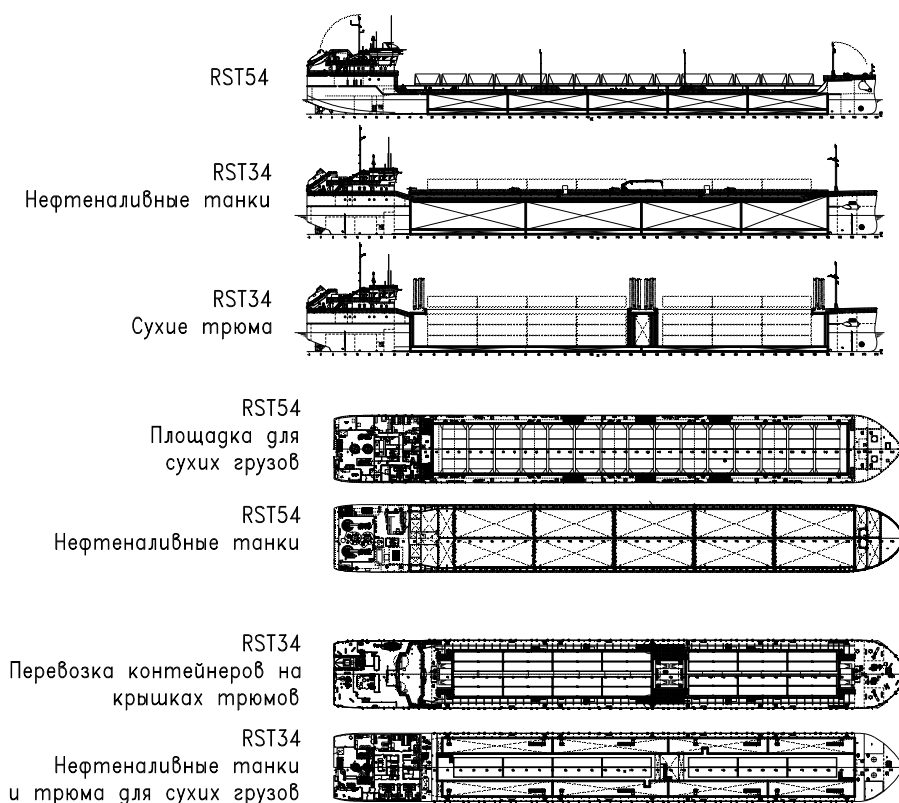


Рис. 9. Сравнение видов «сверхполных» комбинированных судов смешанного река-море плавания (RST54, RST34)

В 2014 году Бюро разработало в обводах RST27 новый концепт RSD62 многоцелевого сухогрузного судна река-море плавания для «северного завоза». Главная идея состояла в том, что оно будет лучше «Сибирских» по грузоподъемности, причем в широком диапазоне рабочих осадок от 2,50 до 3,50 м, будет отвечать максимальным габаритным ограничениям существующей судоремонтной базы на реке Лена и иметь достаточный для сезонной работы по Северном морскому пути класс Регистра по району плавания и хорошие (для того, чтобы вернуться на базу уже в условиях ледообразования и льда до 40 см толщиной) ледовые качества. С другой стороны, новые суда должны быть эффективными на тех перевозках в европейской части, где сейчас работают суда типа «Волго-Дон» (т.е. на линиях речные порты – рейдовые перевалочные комплексы Керчи и Финского залива).

В итоге получается некий симбиоз «Сибирского» и «Волго-Дона», размерами «Волго-Дон макс» класса, но с более высоким, чем у RSD44 классом по району плавания («М-СП 3,5» против «М-ПП 2,5») и ледовой категорией («Лед 40» против «Лед 20»). Понятно, что на сегодняшний день лучшими обводами такого класса судов являются т.н. «сверхполные» обводы, примененные на судах проектов RST27, RST54, RST12, RST28.

Новый концепт RSD62, в итоге, получил более эффективные технико-экономические характеристики, чем «Сибирские» проектов 292 и 0225, но при этом и лучше судов проектов 507Б, 1565 («Волго-Доны») и 05074 («Волжские»), обладая более высоким стандартом прочности, чем существующие суда.

Это позволит на начальном этапе, пока еще действующие суда типа «Сибирский» имеют удовлетворительное техническое состояние и могут обеспечивать «северный» завоз, новому проекту RSD62 работать в европейской части на линиях, привычных для судов «Волго-Дон макс» класса, обеспечивая тем самым окупаемость в существенно более привлекательные сроки.

По мере выбытия старого флота на севере, суда проекта RSD62 будут осуществлять переход в базовые парокходства и менять на «северном» завозе «Сибирские», обеспечивая тем самым безопасное плавание по морским участкам якутского побережья между устьями рек Колыма, Индигирка, Яна, Лена.

Средний возраст судов типа «Сибирский» составляет 29 лет. Поэтому суда проекта RSD62 успеют отработать в европейской части примерно по 10 лет, что обеспечит разумную экономику проекта и соответственно, если и потребуются увеличение роста тари-

фов на «северный» завод, то не в столь значительной степени, как сейчас показывают экономические расчеты, выполненные без учета «европейской» эксплуатации.

Таким образом, требуется строительство нового грузового флота смешанного (река-море) плавания, полностью соответствующего специфике эксплуатации в Ленском бассейне, но с более привлекательной экономикой за счет частичной работы в европейской части.

Если не будет нового флота, то обеспечивать «северный» завод по побережью Северного морского пути с заходом в устья арктических рек через 10 лет будет не чем – возраст «Сибирских» достигнет 40 лет, что, по нашим оценкам, является предельным возрастом для грузовых судов с точки зрения безопасности мореплавания и рентабельности всевозрастающих по объемам ремонтов.

В мае 2016 года был впервые представлен другой сухогрузный проект река-море плавания Морского Инженерного Бюро RSD59, который также был выполнен в «сверхполных» обводах с двумя сухогрузными трюмами, один из которых имеет рекордную для «Волго-Дон макса» длину. Преимущества RSD59 по сравнению с лучшим из строящихся для таких задач сухогрузов проекта RSD49:

- дедвейт при осадке 3,60 м 5209 тонн (у проекта RSD49 – 4507 тонн), что больше на 702 тонны;

- дедвейт при осадке 4,20 м 6831 тонна (у проекта RSD49 – 6021 тонна), что больше на 810 тонн;

- дедвейт при максимальной осадке 4,50 м 7542 тонны (у проекта RSD49 при максимальной осадке 4,70 м 7143 тонны), что больше на 399 тонн;

- наличие длинного трюма  $L = 77,35$  м (на судне проекта RSD49  $L = 52$  м), позволяющего перевозить крупногабаритные и тяжеловесные грузы;

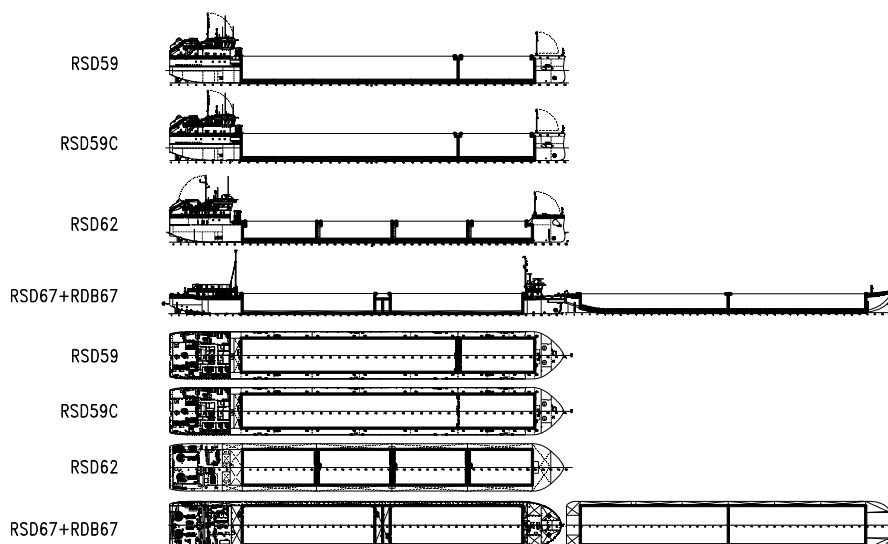
- высота трюма больше на 620 мм (9000 мм), чем на судне проекта RSD49, что позволяет перевозить контейнеры высотой до 9,6 футов – «high cube containers» (3 таких контейнера в высоту);

- установлены люковые закрытия съемного типа. Открывание и закрывание каждой секции осуществляется при помощи специального козлового крана, который по-походному располагается в районе носовой переборки жилой надстройки;

- движение и управляемость обеспечиваются двумя ВРК (лучше маневренность в узкостях, больше грузового пространства за счет уменьшения размеров МО).

Кроме того, были продемонстрированы составные «сверхполные» суда «Днепромаксы» проекта RSD67 с баржами – приставками RDB67 с суммарными дедвейтами при осадке 3,60 м в реке около 11000-12000 тонн.

Главные характеристики «сверхполных» сухогрузных судов смешанного река-море плавания приведены в таблице 5, виды – на рисунке 10.



*Рис. 10. Сравнение видов «сверхполных» сухогрузных судов смешанного река-море плавания*

**Выводы.** Созданный как научный результат исследований концепт RST27 «сверхполного» судна смешанного река-море плавания оказал заметное влияние как на отечественное судостроение, так и на отечественный водный транспорт в целом.

Суда нового концепта продолжают активно строиться (см. табл. 6).

Таблиця 5

Головні характеристики «світлоломих» структурних суден смешаного река-море плавання

Характеристика	проект RSD49	проект RSD59C	проект RSD59	проект RSD62	проект RSD67	проект RSD67+RSD67
Клас судна	KM Iac2 R2 AUT1-C	KM Iac1 R2- RSN(4.5) AUT1-C	KM Iac2 R2 AUT1-ICS	MCTI 3.5 IacA 40 A	KM Iac20 B-R4- RS2,0 AUT1-C NAV-1	KM Iac20 B-R4- RS2,0 AUT1-C NAV-1 (сухопутно-морськ) K Iac20 B1 (барж)
Длина найбільшої м	139,95	141,00	141,00	141,00	140,97	256,90
Длина між д	135,74	137,10	137,10	140,82	139,70	-
Піднята габаритна м	16,70	16,98	16,98	16,98	17,20	17,20
Піднята м	16,90	16,90	16,90	16,90	17,00	17,00
Висота борта м	6,00	6,00	6,00	6,30	5,20	5,30 (барж)
Кубічний мірний, LBN	14023	14365	14365	15083	12608	11051 (барж) 23639 (сухопутно) 4138 (барж)
Висока вмістність, GT	5686	6143	6143	5060	4634	-
Чиста вмістність, NT	3321	3317	3317	2591	2138	-
Об'єм трюмних трюмів (по номінальній проміну двокожкових шкель), м <sup>3</sup>	10921	11200	11200	8404	8244	8065 (барж) 16309 (сухопутно)
Кількість трюмних трюмів	3	2	2	4	2	2+2
Коефіцієнт вмістності ваги / в трюмах, TEU	280 / 219	252 / 192	252 / 192	225 / 105	210 / 140 (опціонально)	240 / 160 (барж опціонально) 450 / 300 (сухопутно)
Кількість, мегават (двигунів) в тип головних двигунів	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200	2 x 1200
Швидкість при ході по ДПД, узл.	11,5	10,2	10,2	10,2	11,0	10,0
Двигуно-лоцманський комплекс	2 якоря + 2 руля	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК	2 ВРК

Продовження табл. 5

Міліардів використаних ДП, кВт	2 x 292	2 x 332	2 x 332	3 x 160	2 x 225	2 x 225
Міліардів аварійного ДП, кВт	1 x 90	1 x 90	1 x 90	1 x 60	1 x 90	1 x 90
Міліардів надрульованих уст-ростей, кВт	200	250	250	230	230	230 (баржа)
Активність, сут.	20	20	20	20	15	15
Залишок / кількість мейт	10 / 12	11 / 15	11 / 15	9 / 14	9 / 12	9 / 12
Вес судна повожем, т	2765	2707	2874	2437	2120	1186 (баржа)
Вес металевого корпусу, т	1754	1684	1783	1552	1254	932 (баржа)
Обсяги по ДПВЛ, м	4,70	4,50	4,50	3,56	3,60 (рука)	3,60 (рука)
Дереви (заг обсяг по ДПВЛ), т	7147	7612	7445	5640	5623	11148
Спеціфікований УТЮ групо, м <sup>3</sup> /ч	1,64	1,57	1,61	1,61	1,48	1,50
Коефіцієнт використання надомістиля по дереву	0,721	0,738	0,721	0,698	0,733	0,771
Енергія на електричну передачу / (дереви х сис-тема, мільярди кВт/ч-год)	0,0292	0,0309	0,0316	0,0417	0,0375	0,0215
Обсяги 4,50 м в мере						
Дереви, т	6607	7612	7445	-	-	-
Спеціфікований УТЮ групо, м <sup>3</sup> /ч	1,76	1,57	1,61			
Коефіцієнт використання надомістиля по дереву	0,708	0,738	0,721			
Енергія на електричну передачу / (дереви х сис-тема, мільярди кВт/ч-год)	0,0312	0,0309	0,0316			



Продовження табл. 5

Осадка 4,00 м в пресовий апарат						
Давість, т	5376	6204	6037	-	-	-
Специфікований УПЮ група, м/ч	2,23	1,96	2,02			
Коефіцієнт використання вдомушення до ледяного Експлуатація на єдину транспортувальну продуктивність, мольність / (дефектність, мольність), кВт/ч-год	0,660	0,696	0,677			
	0,0388	0,0379	0,0360			
Осадка 3,60 м в пресовий апарат						
Давість, т	4511	5279	5112	5336	5823	11148
Специфікований УПЮ група, м/ч	2,72	2,34	2,42	1,64	1,48	1,50
Коефіцієнт використання вдомушення до ледяного Експлуатація на єдину транспортувальну продуктивність, мольність / (дефектність, мольність), кВт/ч-год	0,620	0,661	0,640	0,694	0,733	0,771
	0,0463	0,0446	0,0460	0,0425	0,0375	0,0215
Осадка 3,20 м в пресовий апарат						
Давість, т	3649	4354	4187	4608	4896	9450
Специфікований УПЮ група, м/ч	3,46	2,90	3,03	2,00	1,77	1,77
Коефіцієнт використання вдомушення до ледяного Експлуатація на єдину транспортувальну продуктивність, мольність / (дефектність, мольність), кВт/ч-год	0,569	0,617	0,593	0,654	0,698	0,741
	0,0572	0,0540	0,0562	0,0511	0,0446	0,0254

Таблиця 6

*Хронологія строительства сериї танкерів проекту RST27  
и комбинированных судов проекта RST54*

Название	Верфь, строительный номер	Дата закладки	Дата спуска	Дата сдачи
1	2	3	4	5
<b>Танкера проекта RST27</b>				
ВФ Танкер-1	Красное Сормово, 02001	30.08.11	17.02.12	05.05.12
ВФ Танкер-2	Красное Сормово, 02002	15.11.11	14.04.12	23.05.12
ВФ Танкер-3	Красное Сормово, 02003	03.10.11	17.03.12	17.05.12
ВФ Танкер-4	Красное Сормово, 02004	20.12.11	18.05.12	09.06.12
ВФ Танкер-5	Красное Сормово, 02005	15.12.11	15.06.12	10.07.12
ВФ Танкер-6	Красное Сормово, 02006	28.02.12	12.07.12	20.08.12
ВФ Танкер-7	Красное Сормово, 02007	30.03.12	16.08.12	17.09.12
ВФ Танкер-8	Красное Сормово, 02008	30.04.12	28.09.12	12.10.12
ВФ Танкер-9	Красное Сормово, 02009	08.06.12	19.10.12	29.10.12
Конструктор Животовский	Красное Сормово, 02010	31.07.12	23.04.13	15.05.13
Валентин Груздев	Красное Сормово, 02011	27.09.12	17.05.13	28.03.14
Дмитрий Покровский	Красное Сормово, 02012	31.10.12	28.05.13	28.03.14
Леди Лейла	Красное Сормово, 02013	02.04.13	08.05.14	24.06.14
Леди Севда	Красное Сормово, 02014	15.04.13	12.09.14	30.09.14
Synergy 1	Красное Сормово, 02015	09.06.14	17.04.15	02.06.15
Synergy 2	Красное Сормово, 02016	23.06.14	08.05.15	13.06.15
Виктория	Красное Сормово, 02017	25.12.14	10.09.15	30.09.15
Балт-Флот 11	Красное Сормово, 02018	25.09.15	25.03.16	11.05.16
Балт-Флот 12	Красное Сормово, 02019	20.11.15	11.05.16	07.07.16
Explorer	Красное Сормово, 02020	23.12.15	19.08.16	
	Красное Сормово, 02021	15.04.16		
	Красное Сормово, 02023	31.05.16		
	Красное Сормово, 02024	28.07.16		
ВФ Танкер-11	Окская судовойверфь, 02701	20.10.11	27.04.12	17.07.12
ВФ Танкер-12	Окская судовойверфь, 02702	27.10.11	01.06.12	17.08.12
ВФ Танкер-13	Окская судовойверфь, 02703	23.12.11	28.07.12	25.09.12
ВФ Танкер-14	Окская судовойверфь, 02704	20.01.12	23.08.12	02.11.12
ВФ Танкер-15	Окская судовойверфь, 02705	20.03.12	04.10.12	04.12.12
ВФ Танкер-16	Окская судовойверфь, 02706	23.05.12	22.11.12	29.04.13
ВФ Танкер-17	Окская судовойверфь, 02707	20.06.12	08.02.13	29.04.13
ВФ Танкер-18	Окская судовойверфь, 02708	03.09.12	26.03.13	31.05.13
ВФ Танкер-19	Окская судовойверфь, 02709	18.10.12	25.04.13	28.06.13
ВФ Танкер-20	Окская судовойверфь, 02710	30.11.12	28.05.13	29.07.13
ВФ Танкер-21	Окская судовойверфь, 02711	11.01.13	10.07.13	02.09.13
ВФ Танкер-22	Окская судовойверфь, 02712	11.03.13	15.08.13	07.10.13
Балт-Флот 14	Окская судовойверфь, 02713	14.12.15	08.06.16	
Балт-Флот 15	Окская судовойверфь, 02714	14.12.15		
СВЛ Либерти	Херсонский СЗ, 8001	23.11.11	19.10.12	22.03.13
СВЛ Лоялти	Херсонский СЗ, 8002	22.12.11	17.05.13	12.07.13
СВЛ Юнити	Херсонский СЗ, 8003	22.03.12	21.06.13	30.08.13

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
<b>Комбинированные суда проекта RST54</b>				
Балт Флот 1	Окская судверфь, 5401	16.12.13	10.07.14	22.10.14
Балт Флот 2	Окская судверфь, 5402	24.01.14	26.08.14	27.04.15
Балт Флот 3	Окская судверфь, 5403	05.03.14	24.10.14	27.04.15
Волга-Флот 10	Окская судверфь, 5404	10.04.14	16.04.15	27.11.15
Балт Флот 4	Окская судверфь, 5405	28.05.14	19.11.15	26.04.16
Балт Флот 5	Окская судверфь, 5406	28.08.14	17.03.16	01.06.16
Балт Флот 6	Окская судверфь, 5407	28.11.14	21.04.16	11.07.16

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Багаутдинов Р.Д., Егоров Г.В. Концепция танкеров смешанного плавания нового поколения // *Морская Биржа*. – 2012. – № 2 (40). – С. 22-35.
2. Буксировочные испытания модели танкера RST27 в условиях регулярного волнения / С.Н. Баскаков, Г.В. Егоров, А.В. Демидюк, В.А. Нильва / *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вып. 1 (37). – С. 55-63.
3. Егоров А.Г. Определение весовой нагрузки судов смешанного «река-море» плавания нового поколения в начальной стадии проектирования // *Морской Вестник*. – 2013. – № 4 (48). – С. 19-22.
4. Егоров А.Г. Определение оптимального значения коэффициента полноты и эксплуатационной скорости составов и составных судов смешанного река-море плавания // *Морской Вестник*. – 2015. – № 3 (55). – С. 19-24.
5. Егоров Г.В. Выбор главных элементов сухогрузных и нефтеналивных судов смешанного «река-море» плавания // *Судостроение*. – 2004. – № 6. – С. 10-16.
6. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб: Судостроение, 2007. – 384 с.
7. Егоров Г.В. Выбор основных параметров корпусов судов смешанного плавания для «северного завоза» // *Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова*. – 2010. – № 55 (339). – С. 47-56.
8. Егоров Г.В. Основные принципы проектирования корпусов судов смешанного река-море плавания нового поколения // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2011. – Вып. 32. – С. 15-36.
9. Егоров Г.В. Предпосылки создания нового поколения танкеров смешанного плавания // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вып. 34(1). – С. 102-129.

10. Егоров Г.В. Предпосылки создания нового поколения сухогрузных судов смешанного плавания // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вып. 3 (36). – С. 10-34.
11. Егоров Г.В. О возможности создания судна смешанного река-море плавания с предельно высоким коэффициентом общей полноты // *Труды Крыловского государственного научного центра*. – 2013. – № 3 (2013). – С. 6-14.
12. Егоров Г.В. Проектный ряд нефтеналивных судов смешанного река-море плавания // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2014. – Вып. 2 (41). – С. 5-22.
13. Егоров Г.В. Суда внутреннего, смешанного река-море и каботажного плавания для перевозки негабаритных и тяжеловесных грузов // *Морская Биржа*. – 2015. – № 3 (53). – С. 22-31.
14. Егоров Г.В., Автутов Н.В. Сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом // *Вісник ОНМУ*. – Одеса: ОНМУ, 2013. – Вып. 1 (37). – С. 124-151.
15. Егоров Г.В., Егоров А.Г. Новые мелкосидящие речные составы для Ленского бассейна и других регионов Сибири // *Морская Биржа*. – 2015. – № 1(51). – С. 16-23.
16. Егоров Г.В., Ильницкий И.А. Концепция танкеров-продуктовозов-химовозов «Волго-Дон макс» класса нового поколения // *Морской Вестник*. – 2010. – № 1 (33). – С. 15-20.
17. Егоров Г.В., Колесник Д.В. Энергоэффективность судов смешанного плавания нового поколения // *Морской вестник*. – 2012. – № 4 (44). – С. 97-103.
18. Егоров Г.В., Осадчий Е.А. Исследование возможности использования природного газа в качестве топлива судов смешанного плавания на примере танкера проекта RST27 // *Морская Биржа*. – 2012. – № 1 (39). – С. 20-29.
19. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Серия из двадцати семи «сверхполных» танкеров проекта RST27 // *Судостроение*. – 2013. – № 6. – С. 24-31.
20. Егоров Г.В., Демидюк А.В., Егоров А.Г. Экспериментальное определение коэффициента счала составного судна смешанного плавания с большой полнотой обводов // *Морской Вестник*. – 2015. – № 4 (56). – С. 13-17.
21. Егоров Г.В., Ефремов Н.А., Шабликов Н.В. Речное гражданское судостроение XXI века: анализ и задачи // *Морская Биржа*. – 2016. – № 1 (55). – С. 18-29.
22. Егоров Г.В., Каневский Г.И., Станков Б.Н. Исследование ходовых качеств судна смешанного плавания большой полноты с винторулевыми колонками // *Морская Биржа*. – 2011. – № 4 (38). – С. 16-20.

23. Оптимизация обводов судна смешанного плавания «Волго-Дон макс» класса / Г.В. Егоров, В.И. Тонюк, Б.Н. Станков, А.В. Печенюк / Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2012. – № 2. – С. 4-10.
24. Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины / Г.В. Егоров, С.Н. Баскаков, А.Г. Егоров, И.Н. Бойко, В.А. Нильва // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 2(35). – С. 12-44.
25. Проработка вариантов пропульсивного комплекса судна смешанного плавания класса «Волго-Дон макс» / Г.В. Егоров, И.А. Ильницкий, Б.Н. Станков., А.В. Печенюк / Морской вестник. – 2011. – № 2 (38). – С. 101-106.

*Стаття надійшла до редакції 10.10.2016*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету  
**А.В. Гришин**

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського Інженерного Бюро, науковий консультант  
**В.В. Козляков**