

УДК 629.5

О.Г. Егорова

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
СУХОГРУЗНЫХ НЕСАМОХОДНЫХ РЕЧНЫХ СУДОВ
ДЛЯ СИСТЕМЫ «ДУНАЙ – МАЙН – РЕЙН»**

Рассмотрена история создания судов типа «Европа-2Б». Их главные размерения максимально приближены к путевым ограничениям водных путей системы «Дунай – Майн – Рейн». Проанализированы опасности, которые могут привести к повреждениям корпуса барж в течение всего срока службы; при эксплуатации барж фиксировались многочисленные повреждения, полученные во время погрузки-выгрузки. Сравнительный анализ показал значительное превосходство корпусов барж, набранных по продольной системе набора, над корпусами барж с традиционной поперечной системой. Предложен набор конструктивных мер по улучшению прочности и надежности рассмотренных барж, положительно влияющих на показатели экономической эффективности.

Ключевые слова: система «Дунай – Майн – Рейн», баржи-секции типа «Европа-2Б», металлоемкость конструкций, прочность судов, повреждения, грузовые операции, момент сопротивления, предельный момент сопротивления, проекты RDB06, RDB11, 1635OU, 1635OMДЛ, 1635OMДЛ-С, продольная и поперечная системы набора корпуса.

Розглянуто історію створення суден типу «Європа-2Б». Їх головні розміри максимально наближені до шляхових обмежень водних шляхів системи «Дунай – Майн – Рейн». Проаналізовано небезпеки, які можуть привести до пошкоджень корпусу барж протягом всього терміну служби; при експлуатації барж фіксувалися численні пошкодження, отримані під час навантаження-розвантаження. Порівняльний аналіз показав значну перевагу корпусів барж, набраних за поздовжньою системою набору, над корпусами барж з традиційною поперечною системою. Запропоновано набір конструктивних заходів щодо поліпшення міцності і надійності розглянутих барж, позитивно впливаючих на показники економічної ефективності.

Ключові слова: система «Дунай – Майн – Рейн», баржі-секції типу «Європа-2Б», металоємність конструкцій, міцність судів, пошкодження, вантажні операції, момент опору, граничний момент опору, проекти RDB06, RDB11, 1635OU, 1635OMДЛ, 1635OMДЛ-С, поздовжня і поперечна системи набору корпусу.

The history of creation of «Europe-2B» type vessels is considered. Their overall dimensions are maximally close to the way restrictions of the «Danube – Main – Rhine» system.

© Егорова О.Г., 2017

Dangers that can lead to hull's damages during the whole service life are analyzed. During barge's operation, numerous damages received during loading and unloading, were recorded. Comparative analysis has shown a significant superiority of the barges' hulls with the longitudinal framing system over the barges' hulls with traditional transverse system. A set of structural measures to improve strength and reliability of barges' hull, that effect positively on indicators of economic efficiency, is suggested.

Keywords: *the system «Danube – Main – Rhine», barges of «Europe-2B» type, metal consumption of constructions, vessel's strength, damages, cargoes' operations, section modulus, ultimate section modulus, RDB06, RDB11, 1635OU, 1635OMДЛ, 1635OMДЛ-С projects, longitudinal and transverse framing systems.*

Постановка проблеми. Суда внутреннего плавания (СВВП) отечественных судовладельцев на реке Дунай достаточно старые, поэтому имеется настоятельная необходимость обновления флота компаний, работающих в дунайском бассейне, судами, предназначенными и полностью приспособленными, в том числе для транзитной работы в системе Дунай – Майн – Рейн (ДМР).

Целью статьи является обоснование главных параметров сухогрузных судов внутреннего плавания нового поколения на основе анализа риска эксплуатации уже построенных судов с подготовкой рекомендаций по проектированию корпусов судов такого типа.









Изложение основного материала. Как было показано ранее [1], главные размеры оптимальных СВВП назначаются максимально приближенными к габаритными ограничениями тех водных путей, для которых они предназначены. Однако, в связи с известной проблемой мелководности, часто нельзя выбрать такие габариты в плане (по длине и ширине) единым корпусом. Действительно, трудно представить себе единое судно длиной, например, от 180 до 280 м при осадке 2,50 м (и соответствующей этой осадке малой высоте борта). Поэтому обычным инженерным решением являются составы и составные суда, т.е. несколько судов, состав из которых отвечает максимальным возможностям пути.

Например, если рассматривать перевозки по Дунаю, в 2014 году толкаемыми составами через контрольный пункт Мохач в Венгрии было перевезено около 3,7 млн. т, что составляет 74,7 % от общего объема грузов (в 2013 г. – 74,3 %), из них 2,24 млн. т – вверх, что составляет 83,5 % от всего объема грузов, перевезенных вверх (в 2013 г. – 79,8 %). В среднем в 2014 г. через контрольный пункт Мохач проходило вверх и вниз 45-50 составов в месяц [4].

Европейская классификация составов по типу водных путей и ограничения системы ДМР приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблиця 1

Європейська класифікація складов по типу водних шляхів

Тип водних шляхів	Клас водних шляхів	Толкаемые составы					Миним. высота под мостами ²⁾ , м
		схема состава из барж типа Европа	тип состава: общие характеристики	ширина, м	осадка ³⁾ , м	грузоподъемность, т	
Международного значения	IV		85	9,50 ⁴⁾	2,50-2,80	1250-1450	5,25 или 7,00 ⁵⁾
	Va		95-110 ¹⁾	11,40	2,50-4,50	1600-3000	5,25 или 7,00 или 9,10 ³⁾
	Vb		172-185 ¹⁾	11,40	2,50-4,50	3200-6000	
	VIa		95-110 ¹⁾	22,80	2,50-4,50	3200-6000	7,00 или 9,10 ³⁾
	VIb		185-195 ¹⁾	22,80	2,50-4,50	6400-12000	7,00 или 9,10 ³⁾
	VIc		270-280 ¹⁾	22,80	2,50-4,50	9600-18000	9,10 ³⁾
			195-200 ¹⁾	33,0-34,2 ¹⁾	2,50-4,50	9600-1800	
VII		285	33,0-34,2	2,50-4,50	14500-27000	9,10 ³⁾	

Примечания:

1. Первое значение приводится с учетом современной ситуации, второе – с учетом будущих изменений и, в некоторых случаях, современной ситуации;
2. С учетом безопасного расстояния, составляющего примерно 30 см, между верхней точкой конструкции судна или его груза и мостом;
3. Для перевозки контейнеров приняты следующие значения:
- 5,25 м – для судов с загрузкой контейнеров в 2 яруса; 7,00 м – для судов с загрузкой контейнеров в 3 яруса; - 9,10 м – для судов с загрузкой контейнеров в 4 яруса; 50% контейнеров могут быть порожними, в противном случае следует применять балластировку;
4. Некоторые из существующих водных путей могут рассматриваться как относящиеся к классу IV по максимальной допустимой длине судов и составов, даже если их максимальная ширина составляет 11,40 м, а максимальная осадка – 4,00 м;
5. Значение осадки для конкретного водного пути должно определяться с учетом местных условий.

Таблиця 2

Габарити фарватера системи ДМР

Участок	Навигационный участок, км	Ширина фарватера, м	Мин. глубина фарватера, м	Минимальная полезная высота судоходного пролета лимитирующего моста, м
	Северное море – Бовен – Рейн (1036,2-867,46)	110,0	2,5	9,10
Рейн	Бовен – Рейн – Майнц	120,0	1,90	9,10
Майн	Майнц – Бамберг	36,0	2,50	6,40
Майн – Дунай	Бамберг – Кельхайм	36,0	4,00	6,00
Дунай	Кельхайм – Сулина	40	1,85	6,07

Объемы международных перевозок по Европейским внутренним водным путям (ВВП) напрямую зависят от возможности совместного использования водных коммуникаций унифицированными судами разных стран (обычно это речные баржи типа «Европа»), т.е. от проходных осадок, габаритов каналов и шлюзов, минимальных проходных высот под мостами.

Среди СВВП, которые в настоящее время эксплуатируются в системе ДМР, есть много судов, спроектированных не под условия Дуная и с заметно избыточными прочностными возможностями (класс РС ПСП, класс РРР «О 2,0», «М-СП 3,5» и пр.), что привело к существенным отличиям в их главных характеристиках. Например, суда типа «Волго-Дон» класса «О-ПР 2,0» с их осадкой в 3,50 м могут эксплуатироваться только до портов Югославии, причем не во всякий сезон и не каждый год. После разрушения системы «Интерлихтер» стала нерентабельной эксплуатация лихтеров типа ДМ класса река-море плавания R2-RSN (6,0 м высота волны), представляющих собой фактически половину баржи типа «Европа-2Б» и соответственно имеющих более высокий стандарт общей прочности.

Типовыми самоходными судами являются речные сухогрузные и нефтеналивные баржи-секции типа «Европа-2Б» грузоподъемностью $Q_{гр} = 1600...2000$ т, габариты которых унифицированы – $L \times B \times D \times d = 76,0...76,5 \times 11,0...11,4 \times 3,20 \times 2,7...3,0$ м и надводным габаритом не более 5,25 м, поэтому понятной целью процесса проектирования является минимальная металлоемкость конструкции.

Однако правильным для этих судов будет несколько более широкая трактовка целевой функции. Оптимизация массы корпуса должна отражать класс судна, однако, не в привычном понимании района плавания, который для барж типа «Европа-2Б» практически всегда единый (в обозначениях [3] 2 район, допускаемая высота волны 0,6 м), а допустимая технология (порядка) погрузки-выгрузки, как инструмент учета фактических рисков, которые возникают на протяжении всего жизненного цикла эксплуатации (со сроком службы до 30-35 лет).

Такая сухогрузная баржа-секция предназначается для перевозок генеральных, навалочных грузов и контейнеров международного стандарта методом толкания на всем протяжении системы ДМР. По архитектуре это однотрюмное судно, с форпиком и ахтерпиком, с двойными дном и бортами. В конструкции традиционно уже много десятилетий применяют поперечную систему набора корпуса, имеющую преимущества в постройке.

Трюм закрывается передвижными люковыми крышками. Его раскрытие обеспечивается примерно на 50 %. Носовая оконечность самообразного типа, кормовая имеет небольшой подъем от основной линии или без него.

Наливная баржа-секция предназначается для перевозки наливных грузов методом толкания также на всем протяжении системы ДМР.

Основное устройство и оборудование ее выполняются по типу сухогрузной баржи-секции. Корпус судна разделен поперечными и продольными переборками на форпик, ахтерпик, наливные грузовые танки и коффердамы.

Анализ эксплуатации судов такого типа позволяет выявить те факторы, которые оказывают наибольшее влияние на риск в течение всего срока службы [2].

Например, при нормальной интенсивности эксплуатации самоходное судно, работающее на Дунае, за год примерно 250 раз проходит через шлюзы, самоходное судна – 300 раз соответственно. На всей протяженности системы ДМР от порта Сулина до порта Роттердам имеются 82 шлюза (из них на участке соединения Дунай-Майн от Йохенштайна до Ашаффенбурга 52 шлюза). При нормальной интенсивности эксплуатации (14 рейсов для самоходного и 18 рейсов для самоходного грузового судна ежегодно) по всей протяженности системы ДМР самоходное судно за год около 1100 раз (!!!) будет проходить через шлюзы. Для самоходного судна эта величина приблизительно составит 1500 шлюзований.

Очевидна роль этого фактора риска и его последствий – касаний стенок шлюзов и каналов, приводящих к дополнительному истиранию ширстречного и скулового поясьев бортовой обшивки и деформированию набора, их подкрепляющего. Особенно при этом страдают связи в носовой оконечности.

Еще одной особенностью является то, что европейские СВВП эксплуатируются, как правило, на мелководье обитаемых и обжитых рек, проходящих по развитым странам со строгим природоохранным законодательством и влиятельными экологическими организациями. Следовательно, такое событие как посадка на мель является для СВВП системы ДМР событием достаточно регулярным и при этом более опасным, чем в иных водных бассейнах.

Опасности, обусловленные путевыми условиями, проявляются по-разному:

- непосредственно, как главная причина аварии – контакт со стенками шлюзов и каналов, а особенно посадка на мель, могут сами по себе привести к перелому корпуса;

- косвенно, как фоновая причина аварии – накопление повреждений днища, скулы, а также бортов, которые за определенный период могут существенно снизить несущую способность корпуса и способствовать перелому в иной ситуации, например, во время грузовых или ремонтных операций.

Применение плавучих кранов, которые широко используются, например, на рейдовых перевалочных комплексах, приводит к повреждениям бортовых конструкций СВВП при повороте стрелы крана, при раскачивании на волнении, при проходе рядом других судов. Особенно опасным данное событие бывает в начале погрузки или в конце выгрузки, когда низкбортный корпус плавучего крана с хорошей кранцевой защитой контактирует с поясом бортовой обшивки, не защищенным привальным брусом.

Аналогичные повреждения возникают при контакте бортовых конструкций, особенно ширстрека и скулы, со стенками каналов и шлюзов.

Анализ ремонтных ведомостей, грузовых и вахтенных журналов более чем 140 судов за длительный период эксплуатации позволил выявить типовые дефекты и повреждения их корпусов, что, в свою очередь, дало возможность достаточно обоснованно определить основные источники повреждений корпусов СВВП системы ДМР. На рисунке 1 приведены типовые повреждения корпуса, а на рисунке 2 – соответствующие причины, их вызывающие.

При этом сами переломы корпусов чаще всего происходят во время погрузки и выгрузки, так как в условиях отсутствия волнения именно они приводят к неконтролируемому и опасному росту изгибающего момента.

Моделирование возможных вариантов погрузки-выгрузки сухогрузных самоходных СВВП показал, что наиболее важными с позиций сохранения прочности судов при грузовых операциях являются (см. схему на рисунке 3):

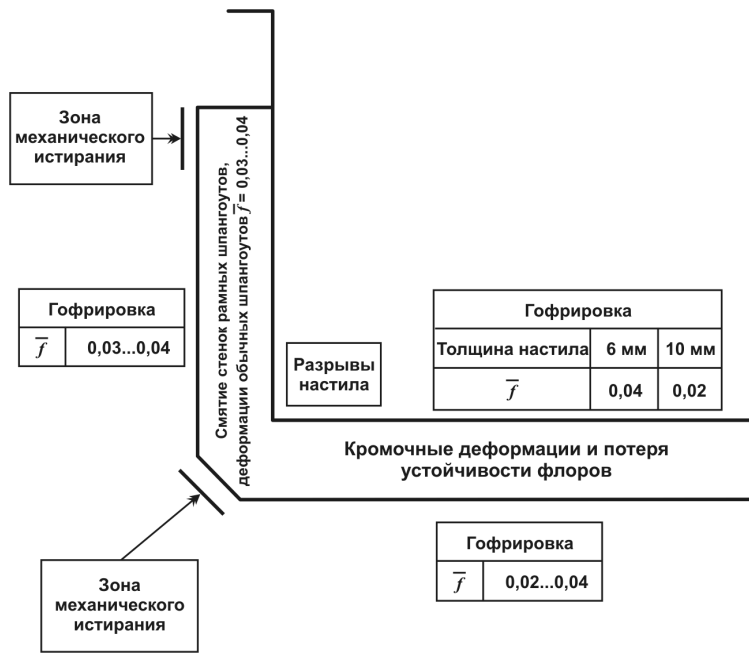


Рис. 1. Повреждения корпуса баржи типа «Европа-2Б»: \bar{f} – относительная стрелка прогиба

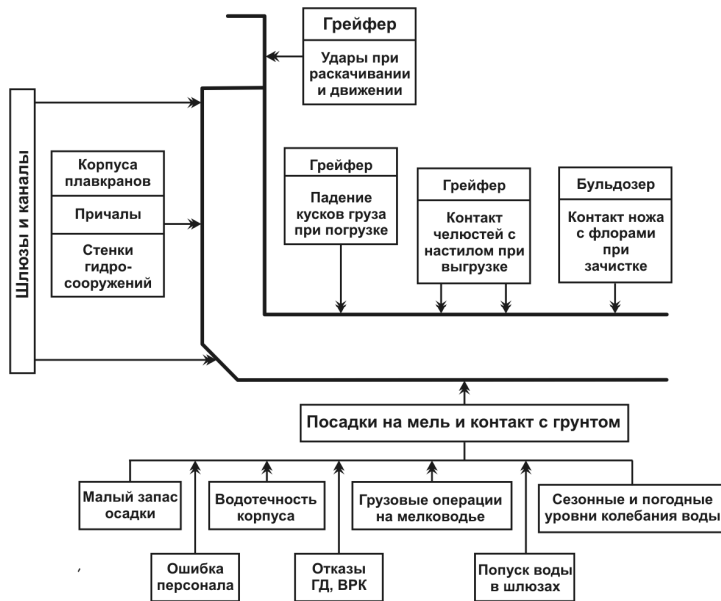


Рис. 2. Источники повреждений корпуса баржи-секции



Рис. 3. Варианты проведения грузовых операций

- вариант погрузки одним грузовым устройством в один проход с носа в корму (в силу наличия определенной симметрии оконечностей этот вариант дает для несамоходных судов практически те же результаты, что и вариант с кормы в нос);

- вариант погрузки одним грузовым устройством в два прохода;

- вариант погрузки двумя грузовыми устройствами от оконечностей к миделю;

- вариант погрузки двумя грузовыми устройствами от миделя к оконечностям.

Первые два варианта представляют собой случаи регламентируемой или «контролируемой» организации грузовых операций. Именно такие варианты являются типовыми для инструкции по загрузке (ИЗ) и для типовых расчетов прочности корпусов существующих СВВП.

Два последующих варианта являются наиболее опасными случаями «неконтролируемой» организации грузовых операций, так как вариант погрузки от оконечности к миделю (3) приводит к максимально возможному перегибу корпуса, а вариант погрузки от миделя к оконечностям (4) – к максимально возможному прогибу.

Конечно, подобные нарушения могут представляться несколько искусственными, но именно такие схемы дают наибольшие отклонения в сравнении с регламентированными операциями.

Результаты численного моделирования в виде наибольших величин коэффициентов изгибающих моментов $m_{расч} = M_{расч} / 9,81 \cdot \Delta \cdot L$, где Δ – водоизмещение судна, L – длина, приведены на рисунке 4. Как видно из рисунка 4, у баржи-секции типа «Европа-2Б» для первого варианта величина $m_{TB} = 0,0124$ (при 23 % от общего количества груза), для второго варианта величина $m_{TB} = 0,0075$ (при 13 % от общего количества груза), для третьего варианта величина $m_{TB} = 0,0232$ (при 48 % от общего количества груза), для четвертого варианта величина $m_{TB} = -0,0197$ (при 52 % от общего количества груза).

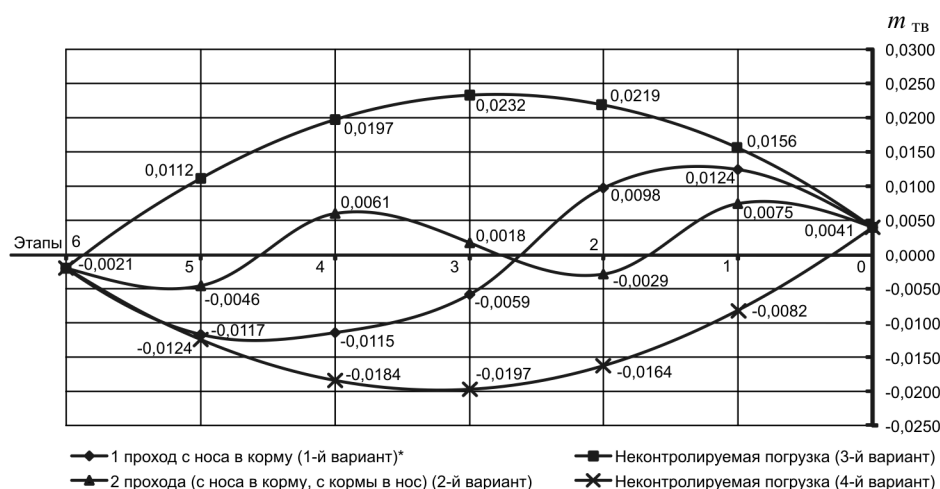


Рис. 4. Изменения наибольшего изгибающего момента при грузовых операциях для баржи секции типа «Европа-2Б»

Таким образом, изменение схемы погрузки баржи типа «Европа-2Б» с однослойной к двухслойной уменьшает изгибающий момент в 1,65 раза, неконтролируемая погрузка увеличивает в сравнении с однослойной наибольшие при грузовых операциях изгибающие моменты в 1,87 раза, а в сравнении с двухслойной – в 3,09 раза.

Подавляющее большинство переломов корпусов СВВП, особенно в системе ДМР, где практически нет значимого волнения, происходит из-за потери устойчивости элементов сжатого пояса эквивалентного бруса, что, безусловно, связано с широким применением в европейском речном судостроении поперечной системы набора.

Количественный и качественный рост стандарта общей прочности, с помощью которого можно парировать выше перечисленные опасности, может быть обеспечен следующими мероприятиями:

- увеличением толщин и размеров связей, т.е. увеличением металлоемкости корпусов;

- изменением методики расчета усилий от общего изгиба за счет увеличения для отдельных классов расчетного дополнительного (волнового и ударного) изгибающего момента; введением учета неравномерности загрузки судов и затопления пиков; проверки общей прочности при грузовых операциях для промежуточных случаев из ИЗ; проверки общей прочности при удифферентовке судна для осмотра винта, что может, в итоге, приводить к увеличению размеров связей;

- изменением методики расчета общей прочности за счет увеличения коэффициентов запаса; проверки прочности для корпуса к концу срока службы с учетом износа и деформаций, что также может приводить к увеличению размеров связей;

- сменой поперечной системы набора крайних поясков эквивалентного бруса на продольную;

- для продольной системы набора увеличением устойчивости продольных РЖ за счет уменьшения рамной шпации и увеличения момента инерции поперечного сечения профилей продольных РЖ.

Как уже отмечалось, главным фактором опасности для СВВП системы ДМР являются грузовые операции, соответственно, управление этим риском влияет на конструктивные и проектные решения. Это можно проиллюстрировать на примере спроектированных в разное время Морским Инженерным Бюро барж типа «Европа-2Б» новых проектов, имеющих одинаковые размерения.

В период с 1999 по 2005 год Килийский судостроительно-судоремонтный завод (КССРЗ) построил 19 барж типа «Европа-2Б» конверсионного типа проектов 1635ОУ и 1635ОМДЛ, спроектированных Морским Инженерным Бюро и КБ КССРЗ под руководством главного конструктора В.А. Кириченко (см. рисунок 5).



Рис. 5. Баржа типа «Европа-2Б» проекта 1635ОМДЛ на стапеле КССРЗ

Эти баржи строили путем соединения двух корпусов сухогрузных лихтеров «Дунай – море» класса РС ПСП, оставшихся после прекращения деятельности «Интерлихтера». Главные параметры указаны в таблице 3.

Например, баржи пр. 1635ОУ конверсировались путем стыковки двух лихтеров типа ДМ пр. 1635К после удаления ахтерпиков на длине 2,75 м. Величины фактических толщин продольных связей, использованных при постройке, представлены в таблице 3.

Таблиця 3

Остаточные толщины продольных связей корпуса баржи пр. 1635ОУ

Наименование связи	Строительная толщина S_0 , мм	Фактическая остаточная толщина при конверсии $S_{факт}$, мм	Износ, %
Обшивка днища	10,0	8,75	12,50
Обшивка днища	8,0	7,0	12,50
Обшивка борта	8,0	7,0	12,50
Ширстрек	10,0	8,75	12,50
Настил палубы	8,0	7,52	6,0
Стенка комингса	12,0	11,76	2,0
Полка комингса	10,0	9,80	2,0
Обшивка 2-го борта	8,0	7,68	4,0
Настил двойного дна	10,0	9,50	5,0

По результатам проектных расчетов было дополнительно установлено продольное разрезное ребро жесткости на стенке продольного комингса для обеспечения устойчивости стенки комингса при продольном изгибе корпуса.

Компенсация недостатка момента сопротивления комингса осуществлялась путем приварки к верхней части его стенки накладной полосы 20 x 200 мм.

Момент сопротивления днища неподкрепленного корпуса с учетом редуцирования гибких связей также был недостаточен из-за низкой устойчивости днищевой обшивки. Для устранения данной проблемы установлены два продольных разрезных ребра жесткости (полособульб № 10, по одному ребру с каждого борта), приваренных изнутри бортовых отсеков к днищевой обшивке. Установленные ребра не включались в расчет эквивалентного бруса, а лишь служили опорами для пластин днища.

Судно было спроектировано и построено по Правилам классификации и постройки судов внутреннего плавания Бюро Веритас; Рекомендациям по унификации флота Дунайских пароходств; Рекомендациям по унификации электрооборудования толкаемых составов на Дунае; Основным положениям о плавании по Дунаю (ОППД) и Основным рекомендациям по применению ОППД компетентными властями Придунайских государств. Основные характеристики приведены в таблице 4, а общий вид представлен на рисунке 6.

В носовой оконечности судна имеется стабилизирующий обтекатель. Грузовой трюм длиной 65,4 м выполнен в ящичной форме. Люковые закрытия телескопического типа со сдвигающимися вручную крышками.

Таблиця 4

*Основные характеристики барж типа «Европа-2Б»
Морского Инженерного Бюро, строившихся на Килийском ССРЗ*

Параметр	Пр. RDB06	Пр. RDB11	Пр. 1635OY
Длина габаритная, м	76,02	76,02	76,50
Длина, м	76,00	76,00	76,10
Ширина габаритная, м	11,44	11,44	11,04
Ширина, м	11,40	11,40	11,00
Высота борта, м	3,20	3,20	3,90
Осадка по КВЛ, м	3,00	3,00	3,1
Осадка порожнем, средняя, м	0,56	0,56	0,54
Габаритная высота от ОП до верхней кромки несъемных частей, не более, м	5,30	5,30	4,99 – до верхней кромки комингса
Грузоподъемность (около), т	2000	2000	2033 (пр. 1635OY)/ 2097 (пр. 1635OMДЛ)
Вместимость грузового трюма, м ³	2228	2106	2667
Люковые закрытия	Телескопического типа со сдвигающимися вручную крышками	Телескопического типа со сдвигающимися вручную крышками	Понтонного типа
Класс	I3/3E ☒ side tank vessel loading and unloading in two runs /NP N12 ice	I3/3E ☒ side tank vessel /NP N12 ice	KM ★ B2

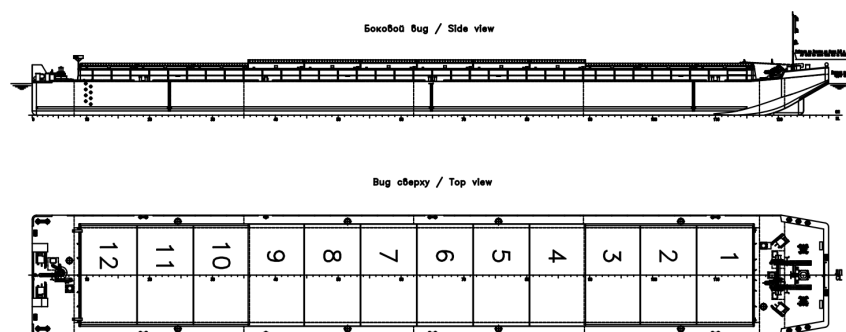


Рис. 6. Общий вид барж проектов RDB06 и RDB11

Корпус имеет двойное дно, двойные борта, верхнюю палубу с шириной раскрытия $0,79 B$, непрерывные продольные комингсы грузового люка высотой 1,20 м. Поперечные переборки в трюме и в бортовых отсеках плоские. Вторые борта, наружные борта, верхняя палуба, продольные комингсы люка и палубный стрингер, ахтерпик выполнен по продольной системе набора; конструкция носовой оконечности, днища и второго дна – по поперечной. В грузовой части корпуса установлены двойные борта, набранные по продольной системе набора.

Междудонные, бортовые отсеки, ахтерпик и форпик являются сухими отсеками.

Высота междудонных отсеков 600 мм. Ширина бортовых отсеков 1200 мм.

В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категории А с пределом текучести 235 МПа, кроме ширстрека, который в средней части изготовлен из стали категории Б.

Второе дно рассчитано на интенсивность распределенной нагрузки $6,5 \text{ т/м}^2$.

Поперечная шпация в носовой оконечности и в средней части судна (шп. 8-128) имеет размер 600 мм; в кормовой оконечности (шп. 0-8) – 500 мм;

В бортовых отсеках установлены три водонепроницаемые поперечные переборки, разделяющие межбортовое пространство на четыре непроницаемых отсека.

Предусмотрена возможность установки подруливающего устройства мощностью 95 кВт с питанием от толкача.

Головная баржа пр. RDB06 DS 1863 была спущена 8 апреля 2005 года на КССРЗ. Баржи строились по схеме кредитования австрийским банком «Bank für Arbeit und Wirtschaft AG» при непосредственном участии «Oesterreichische Kontrollbank AG».

Баржи новой конструкции работают на Верхнем Дунае с выходом на Рейн.

Планировалась ее активная загрузка в контейнерном варианте от Роттердама до Будапешта, с движением в устьевые украинские порты. Предполагалось, что судно пр. RDB06 DS 1863 будет элементом перспективной транспортной системы с участием морских сухогрузных судов пр. RSD09. Такая схема позволяла замкнуть трансконтинентальную систему перевозок от Северного моря до портов Северной Африки через Измаил, Килию, Рени судами Дунайского пароходства.

В корпусах пр. RDB06 реализованы привычные для барж дунайского региона решения (как по набору корпуса, так и высоте двойного дна, которая, по сути, не предназначена для ремонта в будущем).

Следующий проект RDB11, напротив, был спроектирован с учетом накопленного отечественного и зарубежного опыта, который показал недостаточную общую прочность существовавших судов.

Принципиальное отличие проектов состоит в том, что корпуса пр. RDB11 имеют продольную систему набора, корпуса пр. RDB06 – поперечную систему набора (см. сравнения в таблице 5, мидель шпангоуты – см. рисунки 7 и 8 соответственно).

Основные проблемы прежнего поколения барж были связаны в первую очередь с недостаточной устойчивостью пластин обшивки и палуб при поперечной системе набора, особенно при сжатом днище.

Для корпусов с продольной системой набора количество переломов корпуса в среднем соответствует вероятности за весь срок эксплуатации 0,0028 против 0,0114 при поперечной. Таким образом, при поперечной системе набора вероятность перелома в 4,1 раза больше, чем при продольной.

Таблица 5

*Прочностные характеристики проектов дунайских барж
типа «Европа-2Б»*

Наименование характеристики	Проект RDB11	Проект RDB06	Проект 16350У
	Киевский ССРЗ	Кикийский ССРЗ	Кикийский ССРЗ
Высота борта, м	3,20	3,20	3,90
Высота комингса люка	1,20	1,20	1,09
Высота двойного дна, м	0,80	0,60	0,43
Масса корпуса, т	358,7	356,2	
Водоизмещение порожнем (с учетом люковых закры- тий), т	428	430,5	385,1
Момент сопротивления корпуса по комингсу, м ³	0,2891	0,2908	0,2051 (0,1965*)
Момент сопротивления корпуса по днищу, м ³	0,6464	0,5929	0,4300 (0,1931*)
Предельный момент корпуса при перегибе, кНм	67880	47330	45380
Предельный момент корпуса при прогибе, кНм	67950	68330	48210
Примечание: * – с учетом редуцирования.			

За счет изменения системы набора с поперечной на продольную, при практически той же металлоемкости (она увеличилась на 2,5 тонны), удалось на 43 % увеличить предельный изгибающий момент корпуса RDB11 при перегибе и тем самым обеспечить равнопрочность корпуса, как при перегибе, так и при прогибе.

Это принципиально важно для речных судов, так как главной опасностью для них и основной нагрузкой являются усилия на тихой воде, возникающие при грузовых операциях.

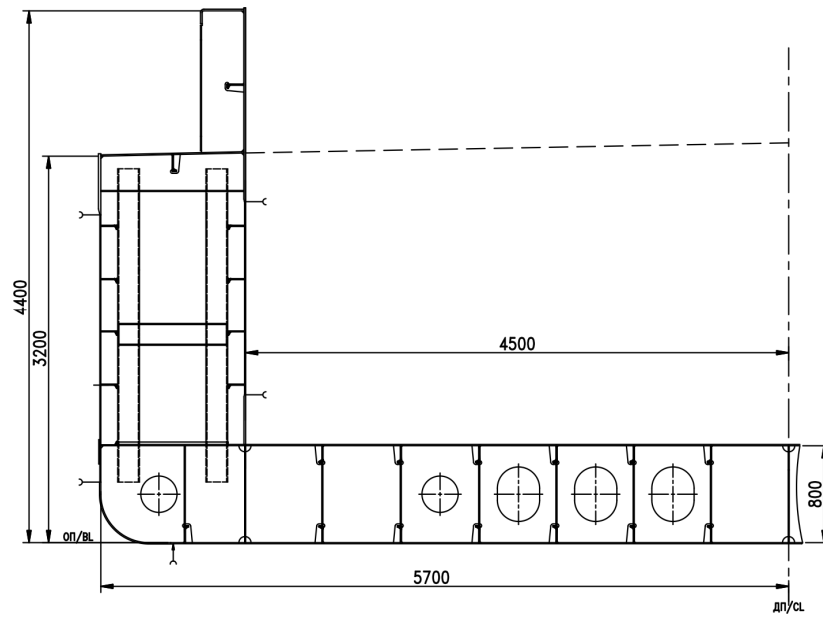


Рис. 7. Мидель-шпангоут баржи проекта RDB11

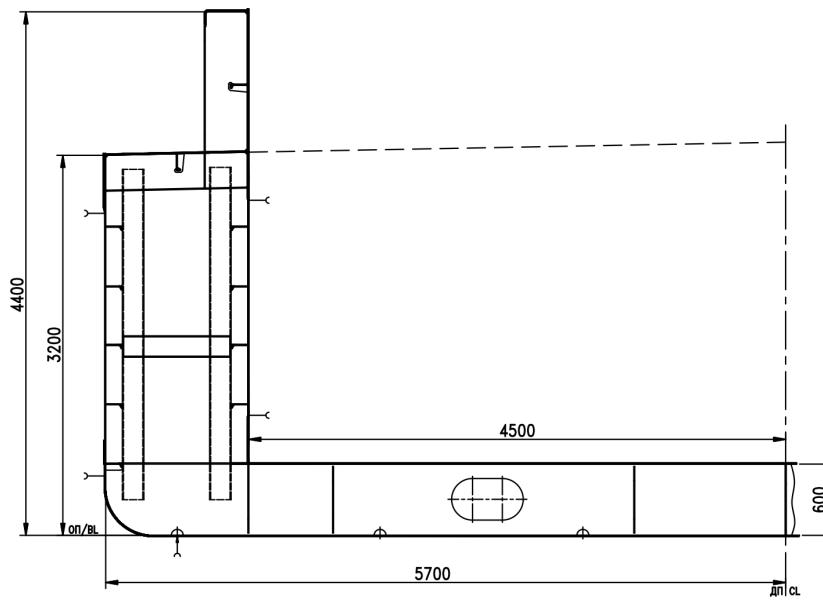


Рис. 8. Мидель-шпангоут баржи проекта RDB06

Это же позволило снять обязательное для баржи пр. RDB06 ограничение погрузки-выгрузки только в два слоя (в два прохода). Баржи пр. RDB11 могут грузиться в один проход, что существенно сокращает стояночное время и существенно снижает роль человеческой ошибки при неверном распределении груза и неверном порядке погрузки-выгрузки.

Кроме того, уменьшение величины при перегибе (днище сжато) в случае поперечной системы набора происходит с большим градиентом, чем при иных условиях. Это приводит к тому, что суда, набранные по поперечной системе набора, быстрее теряют несущую способность.

Уменьшение предельного момента корпуса при поперечной системе набора составляет около 1,8 % в год от построечной величины. Уменьшение этой величины при продольной системе набора крайних связей составляет около 0,8 % в год от построечной величины.

Хронология строительства барж типа «Европа-2Б» приведена в таблице 6.

Таблица 6

*Хронология строительства барж типа «Европа-2Б»
Морского Инженерного Бюро (проекты 1635ОУ, 1635ОМДЛ, RDB06)*

Название	Верфь, строительный номер	Дата закладки	Дата спуска	Дата сдачи
UDP-SL-016	Кикийский ССРЗ			1999
UDP-SL-017	Кикийский ССРЗ			1999
UDP-SLG-001	Кикийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-002	Кикийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-003	Кикийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-004	Кикийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-005	Кикийский ССРЗ			2001
UDP-SLG-006	Кикийский ССРЗ			2002
UDP-SLG-007	Кикийский ССРЗ			2002
UDP-SLG-009	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-010	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-013	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-014	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-015	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-016	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-017	Кикийский ССРЗ			2004
UDP-SLG-018	Кикийский ССРЗ			2005
UDP-SLG-019	Кикийский ССРЗ			2005
UDP-SLG-020	Кикийский ССРЗ			2005
DS1863	Кикийский ССРЗ, 40D552	30.12.03	24.04.05	29.04.05
DS1864	Кикийский ССРЗ, 09752K	09.12.05	07.03.06	20.03.06

Заклучение. За счет изменения системы набора с поперечной на продольную, при практически той же металлоемкости (она увеличилась на 2,5 тонны), удалось на 43 % увеличить предельный изгибающий момент корпусов новых барж типа «Европа-2Б» при перегибе и тем самым обеспечить равнопрочность корпуса, как при перегибе, так и при прогибе.

Таким образом, принятые конструктивные решения обеспечили большую надежность корпусов барж новых проектов, чем судов ранней постройки, набранных по поперечной системе набора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Егорова О.Г. Факторы, влияющие на надежность корпусов грузовых судов Дунайского региона // Труды НТК по СМК памяти проф. П.Ф. Папковича. – СПб.: Крыловский государственный научный центр, 2015. – С. 31-32.
3. Наблюдение за рынком Дунайского судоходства 2014 года: Дунайская Комиссия. – Будапешт, 2015. – 23 с.
4. Рекомендации, касающиеся согласованных на европейском уровне технических предписаний, применимых к судам внутреннего плавания (Приложение к резолюции № 61) // Рабочая группа по внутреннему водному транспорту / Европейская экономическая комиссия ООН. – 2006 (с учетом поправок 2013 г.). – 242 с.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2017

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.В. Демідюк**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **О.О. Каніфольський**