

УДК 629.12

DOI: 10.37890/jwt.vi74.333

О критериях минимальной толщины обшивки судов из композиционных материалов

А.Г. Назаров¹

ORCID: 0000-0002-6313-6277

К.С. Коляченко¹

ORCID: 0000-0002-4324-2590

С.Г. Назарова¹

ORCID: 0000-0002-6730-8064

ООО АН Марин Консалтинг, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрен выбор минимальной толщины обшивки для судов из композиционных материалов. Рассмотрены причины ограничений как предотвращение фильтрации и предохранение от повреждений при контакте. Установлено, что существуют два принципиальных подхода: собственно толщины и масса арматуры. На примерах аварий судов рассмотрены ограничения существующих подходов к нормированию минимальных толщин. Проанализирована практика классификационных обществ по нормированию толщи, выполнено сравнение подходов и результирующие толщины оболочек днища и борта, а также соотношение толщин наружной и внутренней оболочек. Отмечено влияние превышения минимальных толщин на примере проекта катера-перехватчика. Для российских классификационных обществ сформулированы предложения по совершенствованию требований.

Ключевые слова: конструкция судов, композиционные материалы, минимальная толщина, критерии прочности.

On the criteria of minimum thickness of ship plating made of composite materials

Albert G. Nazarov¹

ORCID: 0000-0002-6313-6277

Kirill S. Kolyachenko¹

ORCID: 0000-0002-4324-2590

Svetlana G. Nazarova¹

ORCID: 0000-0002-6730-8064

¹AN Marine Consulting, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper discusses the minimum thickness of ship plating made of composite materials. The reasons for restrictions being the prevention of filtration and protection from contact damage are considered. It has been established that there are two fundamental approaches: actual thickness and reinforcement mass. Due to the examples of ship accidents, the limitations of existing approaches considering minimum thickness requirements are studied. The practice of classification societies on thickness regulation is analyzed; the approaches and the resulting thicknesses of bottom and side shells are compared, as well as the ratio of inner and outer skin thicknesses. The influence of minimum thicknesses' exceeding is noted on the example of interceptor boat project. Suggestions have been formulated for Russian classification societies to improve the requirements.

Keywords: ship structure, composite materials, minimum thickness, strength criteria

Введение

Композиционные материалы (КМ) находят все более широкое применение в судостроении, начиная от корпусов рекреационных судов и судов малого размера, до судов длиной 70м и более, а также элементов конструкций (например, люковых закрытий, надстроек и т.д.) металлических судов большей длины. Использование КМ позволяет при проектировании снизить массу конструкций (рис.1) за счет того, что сам материал и его свойства проектируются непосредственно под действующие нагрузки. КМ часто определяется как «ламинат» и состоит из арматуры (стеклянных, углеродных либо арамидных волокон) и связующего (смолы), а также заполнителя в случае трехслойных конструкций.

На практике стремление к снижению массы корпуса приводит к использованию высокомодульных волокон и снижению толщины оболочек из КМ, особенно в случае применения в конструкции трехслойных панелей. С другой стороны, при выборе толщины оболочек следует учитывать эксплуатационные факторы и долговечность обшивки судна.

В предлагаемой статье поставлена цель повышения эффективности и безопасности судов из КМ отечественной постройки, для чего поставлены задачи анализа существующих требований КО к минимальной толщине, рассмотрены примеры существующих конструкций, предложены пути совершенствования правил российских КО.



Рис.1. Катера-перехватчики пр.SM16 из КМ трехслойной конструкции

Предпосылки нормирования минимальной толщины

Ведущие классификационные общества (КО) устанавливают критерии прочности и жесткости конструкций из КМ, классификация которых представлена в [1], среди них присутствует критерий минимальной толщины обшивки или его эквивалент. Как правило, один и тот же проект может одновременно соответствовать прочностным критериям различных КО, но не обладать «переносимостью» по критерию минимальной толщины. Критерий минимальной толщины обшивки предназначен для предотвращения следующих нежелательных ситуаций:

- Фильтрация воды через структуру КМ, что приводит к снижению прочностных свойств КМ и долговечности судна, а при замерзании вызывает разрывы обшивки.
- Продавливание и прокалывание обшивки в повседневной эксплуатации, например от касания кильблоков, трейлера, берега, плавающих предметов и т.д.

Следует отметить, что требования КО к минимальной толщине обычно относятся только к конструкционным слоям. В то же время отсутствие фильтрации обеспечивается и декоративным слоем, и следующим за ним барьерными слоями (например, SoricTF 2), насыщенными связующим. С точки зрения противодействия фильтрации имеет смысл нормировать общую толщину слоев; более насыщенные

смолой материалы обеспечивают лучшую защиту от фильтрации. С другой стороны, более прочные несущие слои ламинатов обеспечивают лучшую защиту от прокалывания.

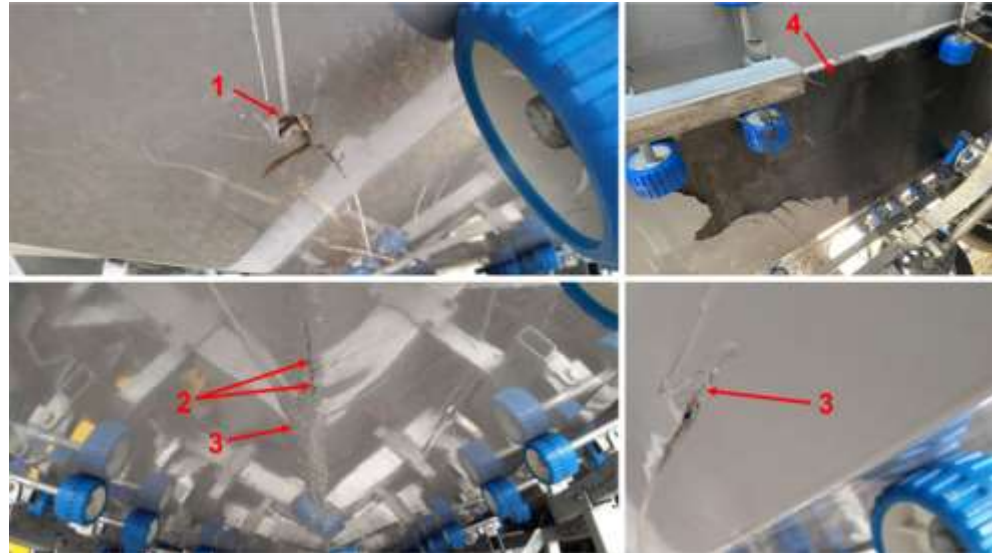


Рис.2. Повреждения наружной оболочки катера длиной 12,0м; 1 – прокалывание трейлером; 2 – трещина, в ней видны элементы роликов; 3 – разрез обшивки; 4 – межслойная деламинация наружной оболочки от скорости



Рис.3. Повреждения наружной оболочки пассажирского судна длиной 14,3м; 1 – место удара о скалу, видны идущие вдоль киля царапины; 2 – сквозная трещина в обшивке; 3 – межслойная деламинация обшивки

Анализ повреждений обшивки

Рассмотрим некоторые из известных авторам случаев повреждения обшивки на судах из КМ. В случае, показанном на рис. 2, служебный катер длиной 12,0 метров, скоростью 45 узлов с трехслойной обшивкой днища, построенный методом вакуумной инфузии с применением углеродной ткани для армирования днища, соответствует требованиям ISO12215:2008/2014 по прочности корпуса, в т.ч. по минимальной толщине оболочек обшивки. Из условий ходовых качеств судно ограничено по массе. Изначально судно получило повреждения в виде проколов, разрезов и трещин от неправильно подобранного трейлера и «выездов» на трейлер на скорости. Своевременный ремонт повреждений не производился, и в дальнейшем от действия давления на высоких скоростях произошла деламинация участка наружной оболочки днищевой обшивки. Наличие в составе обшивки углеродных волокон не

является гарантией от повреждения. На серийных судах конструкция трейлера была изменена, толщина наружной оболочки днища увеличена, установлены накладки. Внимание организации-оператора судов было обращено на бережное обращение с катерами и на ограничения применяемого им в техническом задании стандарта ISO12215-5 в части возможных повреждений от трейлера. Дополнительно для судов, часто поднимаемых на трейлер, не рекомендуется использовать днище с поперечными реданами.

На рис. 3 показано повреждение серийного пассажирского судна длиной 14,3 метров, скоростью 30 узлов. Судно имеет конструкцию днища из однослойного ламината, состоящего из комбинации слоев стеклорогожи и стекломата общей толщиной 11,3 мм, что существенно превышает минимальные требования. Во время подхода к берегу судно получило начальное повреждение обшивки днища от удара о подводную скалу. Несмотря на полученные повреждения и фактически пробоину в виде трещины в носовой оконечности, судно продолжило рейс, что вызвало отделение части слоев обшивки днища на длине более 2м.

Приведенные примеры показывают, что даже несмотря на соблюдение требований к минимальной толщине обшивки на судне из КМ всегда существует риск повреждений обочек, приводящий к показанному на фото значительному разрушению конструкций. При этом, вопреки распространённому подходу некоторых КО, более «сухой» ламинат с высоким содержанием арматуры более подвержен разрушению в виде деламинация. Избежать подобных повреждений можно путем как квалифицированной эксплуатации судов, своевременного ремонта, так и предусматривая защиту днища в виде накладок. Критерии минимальной толщины обшивки служат лишь барьером от мелких повседневных эксплуатационных повреждений и формально определить эту грань «мелких» повреждений довольно сложно. Существующие требования КО к толщинам скорее являются отражением положительной практики, чем научно-обоснованным подходом к прочности и долговечности.

Требования КО и стандартов к минимальным толщинам

Требования КО к минимальной толщине можно условно разделить на две группы:

- Требования к собственно толщине наружной обшивки t для однослойной конструкции или наружной t_0 и внутренней t_1 оболочек «сэндвича» для трёхслойной конструкции.
- Требования к минимальной массе арматуры w в указанных выше оболочках, которая связана с толщиной t через относительное содержания арматуры в ламинате ψ .

Для оценки толщины t слоя армирующего материала из Е-стекла может применяться следующая формула:

$$t = \frac{w}{3.072} \left(\frac{2.56}{\psi} - 1.36 \right) \quad (1)$$

где w – удельная масса армирующего материала в $\text{кг}/\text{м}^2$; ψ - содержание арматуры в ламинате. Если вспомнить, что критерий минимальной толщины часто оказывается определяющим [1], то оказывается, что первая группа поощряет использование низкотехнологичных ламинатов.

Традиционно DNV [2] является наиболее «жестким» КО в части конструкций из КМ; именно ими было впервые введено требование минимальной массы арматуры w , $\text{г}/\text{м}^2$ вместо толщины:

$$w_0 = w_0 (1+k (L-20)) \text{ для } L > 20 \text{ м}$$

$$w = w_0 \text{ для } L \leq 20 \text{ м}$$

где w_0 – базовая масса арматуры, для Е-стекла составляющая 750...6000 г/м² для трехслойных конструкций и 2500...7500г/м² для однослойных; k – коэффициент, $k=0...0.025$ в зависимости от элемента конструкции. Правила DNV очень поощряют применение углепластика – например, w для наружной оболочки днища снижена с 2400 до 1600г/м² при использовании углеволокна.

Китайское классификационное общество CCS [3] требует определять массы арматуры оболочек в виде:

$$w = a + kL$$

где a – начальная масса арматуры, $a=2100...4500\text{г/м}^2$ в однослойных и $a=750...3000 \text{ г/м}^2$ в трехслойных конструкциях для Е-стекла; k – коэффициент, зависящий от зоны корпуса, $k=0...1.87$ в однослойных и $k=0...1.50$ в трехслойных; L – длина судна, м. Для углеродных и арамидных волокон предусмотрены альтернативные значения a и k .

Формула индийского регистра IRS [4] для минимальной толщины t , мм, учитывает длину судна L , включает начальную толщину $t_0=1.5...2.5\text{мм}$ и коэффициент $c=0.03...0.07$:

$$t = (t_0 + cL)$$

Стандарт ISO12215-5 [5] применяется для судов с длиной корпуса до 24м и содержит требования к минимальной толщине t_{\min} обшивки из разных материалов (включая КМ, алюминий, сталь, фанеру), которая для КМ преобразуется в минимальную массу арматуры для однослойной w_{\min} и трехслойной конструкций $w_{os \min}$:

$$t_{\min} = k_5 \times k_6 \times (A + k_7 \times V + k_8 \times m_{LDC}^{0.33}) \times k_9$$

$$w_{\min} = 0.43t_{\min}$$

$$w_{os \min} = k_{10}w_{\min}$$

где $k_7=0,03$, $k_8=0,15$, $A=1,5$ коэффициенты для КМ; V – скорость, уз; m_{LDC} – масса судна при полном водоизмещении, кг; $k_6=0,8...1,0$ $k_9=0,55...1,0$ коэффициенты, зависящие от зоны по длине и по высоте корпуса; $k_{10}=0.6$ для рекреационных судов. Величина k_5 зависит от пропорций типов волокон в ламинате, с учетом массы стекломата m_{CSM} , тканей и жгутов из стекла m_{CG} и углеродного/арамидного волокна m_{CA} , по отношению к общей массе арматуры m_T ; где все значения в кг/м²:

$$k_5 = \frac{m_{CSM} + 0.9m_{CG} + 0.7m_{CA}}{m_T}$$

Требования к $w_{os \min}$ применяются только к наружной оболочке сэндвича, для внутренней оболочки содержится рекомендация принимать 70-80% от наружной. Следует отметить, что требования ISO [5] к толщине обшивки на рекреационных судах являются рекомендательными и в случае, если они не соблюдаются, стандарт допускает включать пункт о бережном обращении с корпусом в руководство пользователя. С 2019 года, стандарт предусматривает обязательность этих требований для рабочих судов, причем минимальные толщины увеличены на 15% по сравнению с рекреационными судами.

Американское бюро судоходства ABC [6] использует следующие формулы для минимальных толщин наружной t_{os} и внутренней t_{is} оболочек сэндвича, мм:

$$t_{os} = 0,35k_3 (C_1 + 0.26L)$$

$$t_{is} = 0,25k_3 (C_1 + 0.26L),$$

где $k_3 = 1.2$ для днища, $k_3 = 1.0$ для борта и палубы, $C_1 = 5.7$ мм. Для однослойной обшивки критерий минимальной толщины не предусматривается, есть только критерии прочности и жесткости.

Регистр Ллойда LR [7] известен тем, что традиционно предъявлял довольно жесткие требования к толщине наружной оболочки трехслойной конструкции. Правда, допускалось уменьшить толщину при проведении вакуум-теста оболочки (чтобы доказать отсутствие фильтрации). С 2016 года требования LR отнесены к массе арматуры слоев сэндвича w_t :

$$w_t = \omega K_L K_V w_m$$

где $\omega = 1.0 \dots 1.2$ – коэффициент типа использования судна; K_V – поправка на объемное содержание волокон, применяется если $\psi > 0.5$; K_L – поправка на длину судна, составляет $0.67 \dots 1.0$, где 0.67 соответствует судам $L \leq 15$ м, 1.0 для судов $L \geq 35$ м. Величина w_m является базовой массой арматуры и зависит от зоны корпуса, наружной и внутренней оболочки. Требования LR для однослойных оболочек основаны на условиях прочности и жесткости, минимальная толщина не рассматривается.

Требования РКО [8] (см. табл. 1) к минимальной толщине относятся только к судам из стеклопластика и представлены в табличной форме для судов длиной до 15 м и более 15 м. Получаемые толщины оболочек корпуса трёхслойных конструкций составляют 2...3 мм; однослойных – до 5 мм и зависят от типа арматуры (стеклоткань, стекломат или стеклорогожка); для рубок толщины составляют соответственно от 1,5 и 2,0 мм. Сравнивая эти требования с другими КО, можно отметить, что толщины занижены для судов большей длины, при этом отсутствует какое-либо ограничение по длине на применимость раздела РКО по судам из КМ.

Таблица 1

Сравнение требований КО и стандартов к минимальной толщине обшивки

Правила	Тип критерия		Зависит от				Примечания
	Толщина или масса	Однослойные, сэндвич	Тип арматуры	Зона корпуса	Длина судна	Скорость судна	
РС	Т	О, С	-	+	+	+ ²⁾	
РКО	Т	О, С	-	+	+ ¹⁾	-	
DNV	М	О, С	+ ³⁾	+	+	-	
LR	М	С	+	+	+	-	
IRS	Т	О, С	-	+	+	-	
CCS	М	О, С	+ ³⁾	+	+	-	
ABS	Т	С	-	+	+	-	
ISO12215-5	М	О, С ⁵⁾	+	+	- ⁴⁾	+	Р

Т- критерий толщины, М – критерий массы, О – для однослойной обшивки, С – для трехслойной обшивки, Р – обязательны только для рабочих судов. Примечания: 1) зависимость от длины судна ступенчатая: до 15 м и более 15 м; 2) если судно является высокоскоростным, применяется увеличение минимальных толщин в носовой части; 3) приведены минимальные массы материалов для стеклопластика и углепластика; 4) учитывается водоизмещение судна; 5) только наружная оболочка.

Российский морской регистр судоходства (РС) [9] содержит требования к минимальной толщине обшивки для однослойных и трехслойных конструкций, представленные в виде графиков. Толщины одинаковы для наружной и внутренней оболочек сэндвича. Для высокоскоростных судов и в оконечностях предусмотрено увеличение минимальной толщины на 20-40%. В отличие от остальных КО требования имеют нелинейную зависимость от длины. Для шлюпок и катеров длиной менее 15 м установлены отдельные минимальные требования, составляющие 2,0...2,5 мм для трехслойных, и 3,5 мм для однослойных конструкций. В дополнение к этим требованиям существуют также параллельные требования к минимальным

толщинам, которые зависят от длины опорного контура пластины; указанные требования происходят из 1960-х годов и на ранних этапах судостроения из КМ были предназначены для оценки прочных размеров конструкций. В настоящее время требования, основанные на опорном контуре, потеряли свою актуальность.

Сравнение требований

Сравнение требований различных КО и стандартов (см.табл.1) к минимальным толщинам показывает разнообразие подходов и учитываемых факторов. Ряд КО, например Bureau Veritas (BV) [10] и существовавший до 2016 года Germanischer Lloyd (GL) [11] вообще не имеют требований к минимальным толщинам, целиком отдавая этот вопрос на усмотрение проектировщика.

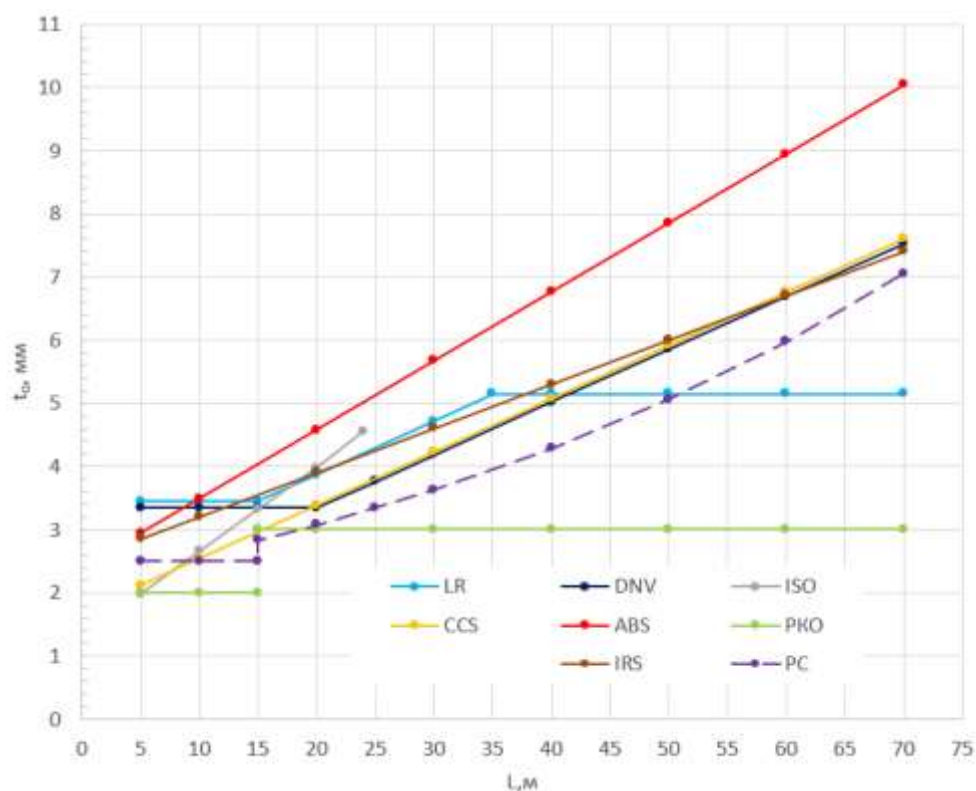


Рис. 4. Зависимость минимальной толщины наружной оболочки трехслойного днища от длины судна по правилам КО и стандартам

На рис. 4 и 5 представлены зависимости толщины наружных оболочек трехслойных конструкций t_0 днища и бортов, определенные по разным правилам. Для тех правил, где задается масса арматуры, применялся пересчет по формуле (1) на толщину исходя из содержания арматуры из Е-стекла при $\psi=0,45$. Можно отметить значительный разброс требований различных КО, наиболее жесткими из которых оказываются ABS, далее DNV и LR. Требования российских КО можно назвать либеральными. Несколько нелогично выглядят «ступеньки» в требованиях PC [9] и особенно PKO [8] для длины 15м; у зарубежных КО изменения t_0 являются плавными.

На рис.6 показаны соотношения требуемых минимальных толщин внутренней t_i и наружной t_0 оболочек сэндвича, по разным стандартам. Можно отметить, что PC [9] и

PKO [8] не делают различий между наружной и внутренней оболочками. Часть правил, например ISO12215 и ABS имеют одинаковые соотношения для разных зон, причем в ISO12215-5 толщина внутренней оболочки является рекомендательной. Для LR, IRS и CCS, соотношение толщин меняется в зависимости от длины судна. Таким образом, единообразия в подходах к t_i/t_o у КО не существует.

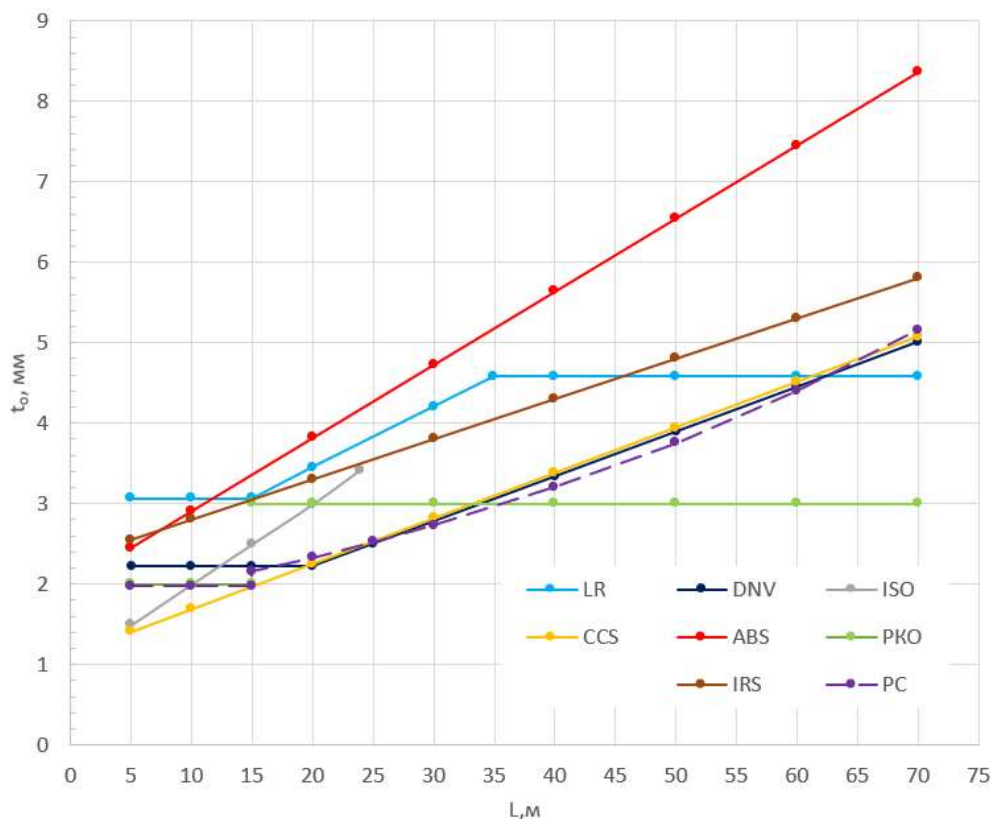


Рис. 5. Зависимость минимальной толщины наружной оболочки трехслойного борта от длины судна по правилам КО и стандартам

Пример применения

В качестве примера применения требований к конкретному проекту рассмотрим катер-перехватчик пр. SM16 из КМ (рис.1), длиной 16м, скоростью до 52уз, изначально разработанный для ВМС Индии. Суда имеют классификацию IRS и LR и строились серийно более 90 единиц [12].

Наружная оболочка трехслойного днища судна имеет конструкцию из слоя стекломата CSM450, двунаправленных LT и квадраксиальных QX тканей LT600+QX800+LT600 (где цифры означают массу ткани в $г/м^2$) общей расчетной толщиной $t_o=3,38мм$ при расчетном $\psi=0,44$ и массе арматуры $w_o=2450г/м^2$. На момент постройки в 2012 году головное судно не соответствовало требованиям LR к минимальной толщине наружной оболочки более чем на 1мм, однако это требование было снято путем проведения вакуум-теста обшивки, что допускается LR [7]. Как можно заметить, судно находится на пределе выполнения современных требований DNV [2] к массе арматуры наружной оболочки (2450 против 2400 $г/м^2$). По результатам постройки головного образца фактическая толщина наружных оболочек обшивки оказалась меньше расчетной (при неизменном армировании) из-за более

высокого по сравнению с расчетным содержания арматуры, фактически составившем $\psi=0,56$. За счет этого критерии IRS к минимальной толщине формально не удовлетворялись, что потребовало дополнительного обоснования. Поэтому более адекватным подходом является нормирование массы арматуры, что сглаживает влияние технологических факторов на толщину, либо следует вводить допуск к минимальной толщине около 15% при сохранении проектной массы арматуры. Суда успешно эксплуатируются более 10 лет для охраны побережья ряда стран Азиатского региона, в частности Индии, Омана, Мозамбика и Мальдивских островов. Добавим, что увеличение толщины конструкции всей секции корпуса на 1мм приводило бы к росту массы корпуса на 340кг (из них на днище приходится 70кг), что составляет более 2% от полного водоизмещения судна. Как следствие, потеря скорости глиссирующего судна составит около 2% и соответственно последуют штрафные санкции за недобор контрактной скорости. Для подобных судов проектировщикам часто приходится работать вблизи минимальных значений толщин, осознавая все возможные риски.

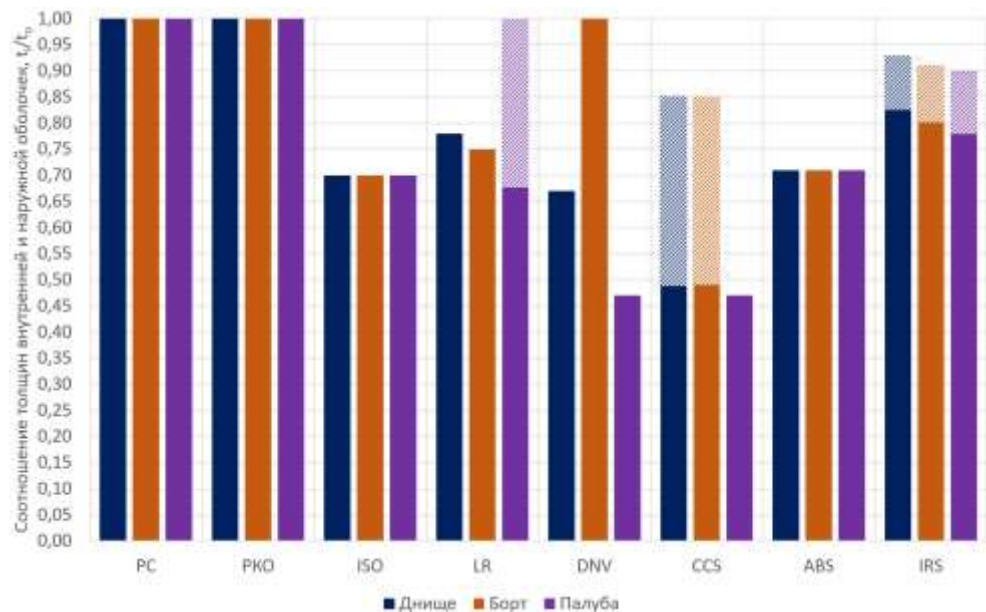


Рис.6. Соотношение толщин внутренней и наружной оболочек трехслойных конструкций по правилам КО и стандартам для разных зон корпуса

Совершенствование норм

В качестве развития норм РС и РКО, предлагается задавать требования к минимальной толщине оболочек t из КМ на основе стекла в виде:

$$t = \max \left\{ \frac{a \times \exp(bL)}{t_0} \right\} \quad (2)$$

где коэффициенты a и b зависят от зоны корпуса и типа конструкции (однослойная либо трехслойная) – см. табл. 2; L - длина корпуса, м. Величина t_0 составляет 2,5 для днища и 2,0мм для остальных трехслойных конструкций, и 3,5мм для однослойных в соответствии с действующими правилами РС [9] для судов до 15м.

В случае, если для армирования конструкции применяются волокна углерода или арамидные, величину t предлагается умножить на корректирующий коэффициент k_{CA} , определяемый с учетом массы стекла w_G и массы углерода или арамида w_{CA} :

$$k_{CA} = \frac{w_G + 0,8w_{CA}}{w_G + w_{CA}}$$

Во избежание проблем с отличием фактической толщины от расчетной из-за технологических факторов, рекомендуется ввести допуск $\pm 15\%$ на толщину оболочек при соблюдении расчетного количества и масса арматуры слоев. Предложенный метод, с одной стороны обеспечивает полную преемственность с действующими нормами РС [9], с другой – позволяет избежать ступенчатого изменения требований и учитывает возможность применения высокомодульных волокон.

Таблица 2

Коэффициенты к формуле (2)

Элемент	Однослойная обшивка		Трехслойная обшивка	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Днище	5,2339	0,0142	2,2073	0,0166
Борт	4,4935	0,0123	1,6946	0,0159
Палуба	4,3701	0,0110	1,6064	0,0136
Переборки	4,2427	0,0095	1,5227	0,0120

Заключение

Как правило, и это подтверждается опытом расчёта конструкций судов, однослойная обшивка, спроектированная из условий прочности и жесткости имеет толщину, по умолчанию соответствующую требованиям к минимальной толщине. Это напрямую отражено в требованиях LR [7] и ABS [6]. В случае с трехслойными конструкциями – наоборот, требования к минимальной толщине оболочек часто превалируют над требованиями прочности.

Как можно заметить, большинство КО применяют для минимальных толщин линейную зависимость от длины, но единого подхода не существует. Ограничения по минимальной толщине обшивки можно расценивать не более чем как «положительную практику», т.к. для реально существующего судна всегда существуют условия, когда обшивка будет повреждена.

В первую очередь, выбор толщин обшивки является задачей проектировщика и основан на опыте и особенностях эксплуатации судов.

Список литературы

1. Королев С.А. Сравнительный анализ критериев местной прочности судовых конструкций из композиционных материалов / Королев С.А., Назаров А.Г. // Научные проблемы водного транспорта, Выпуск 73, 2022. С. 45-56.
DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.274>
2. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
3. Rules for Construction and Classification of Sea-Going High Speed Craft. China Classification Society. Beijing, 2015.
4. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. Indian Register of Shipping, 2021.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
6. Rules for Building and Classing High Speed Craft, ABS, 2022.
7. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd’s Register, 2020.
8. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Правила классификации и постройки судов (ПКПС). – М.: Российский Речной Регистр, 2019, 1506 с.

9. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов. Российский морской регистр судоходства, 2022.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018.
11. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. Germanischer Lloyd, 2012.
12. Kamath P. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study / Kamath P., Nazarov A. // WARSHIP 2013: Minor Warships, June 2013, Bath, UK, p.131-139.

References

1. Korolev S.A. Sravnitel'nyi analiz kriteriev mestnoi prochnosti su-dovykh kon struktzii iz kompozitsionnykh materialov. [Comparative analysis of criteria for local strength of ship structures made of composite materials] / Korolev S.A., Nazarov A.G. // Nauchnye problemy vodnogo transporta, Vypusk 73, 2022.
2. Rules for Classification of High Speed and Light Craft. DNV, 2021.
3. Rules for Construction and Classification of Sea-Going High Speed Craft. China Classification Society. Beijing, 2015.
4. Rules and Regulations for the Construction and Classification of High Speed and Light Craft. Indian Register of Shipping, 2021.
5. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination. International Standards Organization.
6. Rules for Building and Classing High Speed Craft, ABS, 2022.
7. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register, 2020.
8. Rossiiskii Rechnoi Registr. Pravila (v 5-i tomakh). Pravila klassifikatsii i postroiki sudov (PKPS) [Rules of classification and construction of ships]. – М.: Rossiiskii Rechnoi Registr, 2019, 1506 p.
9. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' XVI. Konstruktsiya i prochnost' sudov iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. [Rules for the classification and construction of ships. Part XVI. Design and strength of ships made of polymer composite materials] Rossiiskii morskoi registr sudokhodstva, 2022.
10. Rules and Guidance notes. Hull in Composite Materials and Plywood, Material Approval, Design Principles, Construction and Survey, BV, 2018.
11. Rules for Classification and Construction of High Speed Craft. Germanischer Lloyd, 2012.
12. Kamath P. Design and Construction of SM16 Fast Interceptor Craft: Case Study / Kamath P., Nazarov A. // WARSHIP 2013: Minor Warships, June 2013, Bath, UK, p.131-139.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Назаров Альберт Георгиевич, кандидат технических наук, FRINA, CEng, MSNAME, директор «АН Марин Консалтинг», 107113, Москва, ул. Шумкина, д.20, с.1, офис 501/502, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

Albert G. Nazarov, Cand Sci (Tech), FRINA, CEng, MSNAME, director of «AN Marine Consulting», Shumkina str., 20, p.1, office 501/502, Moscow, 107113, Russian Federation, e-mail: anmarineconsulting@ya.ru

Коляченко Кирилл Сергеевич, инженер-стажер «АН Марин Консалтинг», 107113, Москва, ул. Шумкина, д.20, с.1, офис 501/502, e-mail: 9858538359k@gmail.com

Kirill S. Kolyachenko, trainee engineer, "AN Marine Consulting", Shumkina str., 20, p.1, office 501/502, Moscow, 107113, Russian Federation, e-mail: 9858538359k@gmail.com

Назарова Светлана Георгиевна, специалист по контролю качества «АН Марин Консалтинг», 107113, Москва, ул. Шумкина, д.20, с.1, офис 501/502, e-mail: svetnazar2015@gmail.com

Svetlana G. Nazarova, quality control specialist, "AN Marine Consulting", Shumkina str., 20, p.1, office 501/502, Moscow, 107113, Russian Federation, e-mail: svetnazar2015@gmail.com

Статья поступила в редакцию 07.11.2022; опубликована онлайн 20.03.2023.
Received 07.11.2022; published online 20.03.2023.