

УДК [629.5.02.004.58:656.6.08]:519.21
ББК [39.42-044:39.42-082.03]:22.171.3

Хоанг Минь Шон

**УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА СУДОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ**

Hoang Minh Son

**MANAGEMENT OF TECHNICAL CONDITION
OF SHIPS' HULL STRUCTURES DURING THE OPERATION
BASED ON RISK ASSESSMENT**

Для определения риска повреждения судовых конструкций в процессе эксплуатации предложена методика расчета, основанного на результатах ультразвуковых замеров остаточных толщин. Результат расчета – показатели риска для элементов и групп связей конструкции корпуса судна со временем. В качестве примера приведен расчет рисков для элементов и групп связей конструкции танкера-продуктовоза в зависимости от времени.

Ключевые слова: техническое состояние, корпус судна, оценка риска, вероятностный анализ, анализ последствий, замер толщин, ремонт судна.

For determination of the risk of failure of ship structures during the operation, the method of calculation based on results of ultrasonic measurements of residual thickness has been presented. The result of the calculation is an indicator of risk for the items and groups of the hull construction bonds over time. As an example, risks calculation for elements and groups of elements structural tanker oil product depending on time is given.

Key words: technical condition, ship hull, risk assessment, likelihood analysis, consequence analysis, thickness measurement, ship repair.

Введение

Традиционная практика освидетельствования конструкций корпуса судна, как правило, носит предписывающий характер и ограничивается законодательными и нормативными требованиями. Предписывающие методы в технике имеют достоинство простоты, но им не хватает гибкости в применении, их эффективность не может быть легко измерена, и они не могут легко использовать появившиеся усовершенствования в технологии осмотра.

Методы контроля на основе оценки риска успешно применяются в других отраслях промышленности, они могут использоваться при освидетельствовании конструкции корпуса судов на самом простом уровне и могут помочь инспектору выполнять свои задачи более эффективно в пределах существующих регулятивных и нормативных правил. Методы на основе оценки риска могут применяться также в тех случаях, когда освидетельствование имеет значительные отклонения от традиционной практики.

Сущность контроля технического состояния на основе оценки риска

Риск является произведением вероятности и последствия неисправностей [1]. В проектировании и эксплуатации судовых конструкций существует ряд опасностей, которые необходимо учитывать. Везде, где присутствуют потенциальные опасности, существует риск. Существуют различные качественные и количественные методики для оценки риска [2]. Методы оценки риска варьируются от полуколичественного до полностью количественного. Метод, используемый для оценки риска, зависит от целей оценки риска, а также от имеющихся данных.

В настоящее время каждое классифицированное судно после сдачи проходит определённую программу периодических освидетельствований. Они основываются на пятилетнем цикле и состоят из ежегодных освидетельствований, промежуточного освидетельствования и освидетельствования для возобновления класса/очередного освидетельствования (проводится раз в 5 лет).

В целом периодический осмотр при очередном освидетельствовании каждые пять лет является самым обширным (поскольку это касается осмотра всех элементов) и самым дорогим (т. к. требует постановки судна в док на длительное время). Хотя освидетельствования обширны, такой значительный интервал не отражает изменяющийся во времени характер риска, который испытывает судно с возрастом. Известно, что степень риска судна увеличивается с возрастом и во многом зави-

сит от уровней риска, связанных с конструктивными компонентами с высокими рисками. Например, уровни риска относительно нового судна могут продиктовать, что специальное освидетельствование может проводиться каждые шесть-семь лет, тогда как для стареющего судна повышение уровня риска для критически важных компонентов может потребовать очередных освидетельствований на более частой основе, например раз в четыре года. Таким образом, изменяющиеся периоды времени могут быть выбраны для очередных освидетельствований, в ходе которых не только учитывается рост риска с возрастом, но и уделяется внимание компонентам с высоким риском.

Анализ вероятности неисправности элементов конструкции

Оценка вероятности неисправности, называемой также вероятностью повреждения, может быть определена как мера склонности конструкций к повреждению. Эта склонность должна быть оценена и может рассматриваться как оценка вероятности неисправности. Элементы конструкции могут быть склонны к одному типу повреждений или нескольким типам повреждений, а в некоторых случаях они могут быть связаны (например, усталостные трещины в районах, подверженных интенсивной коррозии).

Схема классификации вероятностей неисправности может быть разработана и условные показатели могут быть назначены для каждой категории, как показано в табл. 1 [3]. В схеме классификации вероятностей в табл. 1 четыре класса вероятностей: Чрезвычайная, Высокая, Умеренная и Низкая.

Таблица 1

Пример классификации вероятностей повреждения конструкции судна

Вероятность	Показатель вероятности	Вероятность неисправности конструкции
Чрезвычайная	4	Очень высокая вероятность, конструкция получит повреждения (трещина, коррозия или деформация) за срок службы судна.
Высокая	3	Эта форма повреждения может возникать иногда (несколько раз за срок службы судна).
Умеренная	2	Эта форма повреждения возникает очень редко, возможно один или два раза за срок службы судна.
Низкая	1	Крайне маловероятно, что конструкция получит повреждения за срок службы судна.

Величина вероятности повреждения (разрушения) конструкции может быть характеристикой состояния конструкции, подверженной коррозионному износу в процессе эксплуатации судна.

Показатели вероятности PX представляют фактическое состояние элементов корпуса по отношению к диапазону возможных состояний – от практически нового корпуса (показатель $P = 1$) до корпуса с износом, превышающим допустимый износ для подтверждения класса, т. е. до состояния «Негодное» (показатель $P = 4$). При этом принято, что нижней границей показателя $P = 3$ являются минимальные требования классификационного общества к корпусу судна для подтверждения класса на 5 лет, верхней границей показателя $P = 1$ – требования классификационного общества к корпусу нового судна (без износа).

Показатели PX отражают состояние конструкции судна в соответствии с вероятностью повреждения конструкции судна: $P = 1$ является наивысшим показателем, соответствующим вероятности повреждения конструкции судна (или его отдельных частей и элементов), – «Низкая»; $P = 2$ – «Умеренная»; $P = 3$ – Высокая и $P = 4$ – Чрезвычайная вероятность повреждения.

В качестве базы сравнения для определения показателя вероятности P элемента конструкции служит величина допускаемой добавки на износ $[\Delta S]^{PX}$, полученная как разница требуемой для нового корпуса толщины S и минимально допускаемой для получения показателей вероятности ($P = 1, 2, 3$) при остаточной толщине $[S_1]^{PX}$.

При назначении допускаемых характеристик остаточных толщин листов и остаточных моментов сопротивления балок выдержан единый подход: на каждый находящийся в рамках классификационной оценки «годный» показатель вероятности (1, 2, 3) отводится 1/3 диапазона допускаемого износа на весь срок службы.

При общем износе допускаемая остаточная толщина листа $[S_1]^{PX}$ для присвоения показателя вероятности ($P = 1, 2, 3$), мм, определяется по формулам:

$$[S_1]^{P1} = S - 0,3(S - [S_1]) \text{ для получения показателя } P = 1;$$

$$[S_1]^{P2} = S - 0,7(S - [S_1]) \text{ для получения показателя } P = 2;$$

$$[S_1]^{P3} = [S_1] \text{ для получения показателя } P = 3,$$

где $[S_1] = m_1(S - \Delta S)$ – допускаемая остаточная толщина листа, мм, при общем износе, требуемая «Инструкцией...» [4]; S – толщина листа, мм, требуемая Правилами постройки [5]; ΔS – надбавка на износ, мм, определяемая Правилами постройки [5]; m_1 – коэффициент, принимаемый по табл. 4.2.2-1 «Инструкции...» [4].

Допускаемый для присвоения показателя вероятности ($P = 1, 2, 3$) остаточный момент сопротивления поперечного сечения балки набора $[W_1]^{PX}$, см³, определяется по формуле

$$[W_1]^{PX} = [W_1] + k_{WPX} [\Delta W],$$

где $K_{WP1} = 2$; $K_{WP2} = 1$; $K_{WP3} = 0$; $[\Delta W] = \frac{W - [W_1]}{3}$; W – момент сопротивления поперечного сечения балки набора, см³, требуемый Правилами постройки [5]; $[W_1]$ – допускаемый остаточный момент сопротивления поперечного сечения балки набора, см³, требуемый «Инструкцией...» [4].

Конечный показатель вероятности неисправности группы элементов конструкции определяется как среднеарифметический показатель вероятности неисправности элементов:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{i},$$

где P_i – показатель вероятности неисправности одного элемента (детали) конструкции; i – количество элементов (деталей) в группе связи корпуса.

Анализ последствий неисправности элементов конструкции

В морских сооружениях оценки последствий риска, как правило, рассматриваются в трех категориях: 1) безопасность человека; 2) окружающая среда; 3) экономический эффект. Последствия для безопасности человека связаны с травмами и гибелью человека. Последствия для окружающей среды связаны с утечкой нефти, приводящей к загрязнению окружающей среды. Экономические последствия связаны с затратами по ликвидации конструктивных неисправностей.

В подходе, предлагаемом нами для каждой категории, введены четыре уровня: Катастрофический, Тяжелый, Существенный и Низкий. Примеры последствий неисправности для конструкций судна приведены в табл. 2 [3, 6].

Таблица 2

Примеры последствий неисправностей для конструкций судна

Уровень последствия	Показатель последствия	Воздействие на безопасность человека	Воздействие на окружающую среду	Экономический эффект
Низкий	1	Единственные или незначительные телесные повреждения	Несущественный разлив нефтепродуктов (до нескольких баррелей)	Локальное повреждение конструкции
Существенный	2	Многочисленные или тяжелые телесные повреждения	Загрязнение моря несколькими тоннами нефтепродуктов Ситуация управляема	Нетяжелое повреждение судна, уменьшение работоспособности
Тяжелый	3	Единичный смертельный случай или многочисленные тяжелые телесные повреждения	Существенное загрязнение моря, требуются срочные меры для контроля ситуации и (или) очистка пораженных зон	Значительное разрушение конструкции судна, потеря работоспособности судна, потеря груза
Катастрофический	4	Многочисленные смертельные случаи	Значительное загрязнение моря со сложным контролем ситуации и (или) трудоёмкой очисткой пораженных зон	Полная потеря судна, груза

Для того чтобы упростить выражение последствия, введена дополнительная категория – общее последствие, которая объединяет эффект последствий для вышеперечисленных трех категорий – безопасность человека, окружающая среда и экономический эффект. Общее последствие неисправности элементов конструкции судна определяется как максимальное значение последствия воздействия на безопасность человека, окружающую среду и экономику.

Определение показателя риска повреждения элемента конструкции корпуса судна

В полуколичественных оценках риска обычный метод для характеристики риска является матрицей риска с использованием числовой схемы, представляющей уровень риска. Сочетание двух параметров, вероятности и последствия, представлено в числовой шкале. Для этого была разработана таблица рисков (табл. 3).

Таблица 3

Таблица рисков

Вероятность неисправности		Последствие неисправности			
		Низкое	Существенное	Тяжелое	Катастрофическое
Чрезвычайная	4	5	6	7	8
Высокая	3	4	5	6	7
Умеренная	2	3	4	5	6
Низкая	1	2	3	4	5

Согласно классификации степеней вероятности и последствия, можно считать, что уровни 2 и 3 рассматриваются как зона допустимого риска, уровни с 4 по 6 – зона приемлемого риска, уровни 7 и 8 – зона недопустимого риска.

Демонстрация применения подхода

В качестве примера рассматривается конструкция корпуса танкера-продуктовоза: $L = 170,0$ м; $B = 25,3$ м; $D = 15,0$ м; $d = 13,6$ м. Судно было построено в 1989 г., толщины замерены в процессе освидетельствования в 2011 г.

Для демонстрации данного подхода расчет произведен для групп листовых элементов наружной обшивки и верхней палубы.

В соответствии с классификацией последствий неисправности для конструкций корпуса судна в табл. 2 можно назначить значения показателей последствий повреждений конструкции данного судна (табл. 4).

Таблица 4

Показатели последствий для групп связей конструкции

Категория последствий	Группа связей конструкции	
	Наружная обшивка	Верхняя палуба
Воздействие на безопасность человека	1	4
Воздействие на окружающую среду	3	1
Экономический эффект	2	2
Общее последствие	3	4

Результаты расчета вероятности неисправности элемента конструкции на основе результата замера толщин приведены в табл. 5 и 6. Расчет показателей элементов конструкции наружной обшивки показывает, что элементы № 2, 3, 4, 5, 6 имеют чрезвычайную вероятность повреждения. Иначе говоря, они имеют износы, превышающие допустимый износ для подтверждения класса, и их надо срочно заменить. Общий показатель вероятности повреждения наружной обшивки составил 2,13, что после округления соответствует показателю $P = 2$. Общий показатель вероятности повреждения верхней палубы составил 1,13, что после округления соответствует показателю $P = 1$.

Корпусные конструкции подвержены постоянному износу, т. е. толщины элементов корпуса в процессе эксплуатации уменьшаются. Пример, приведенные нами, ограничивает деградацию конструкции только из-за коррозии. Используемая модель коррозии показана на рисунке. Это просто пример, и модель может быть изменена, чтобы отразить районы плавания судна, системы защиты и т. д.

Таблица 5

Расчет показателей вероятности повреждения элементов наружной обшивки

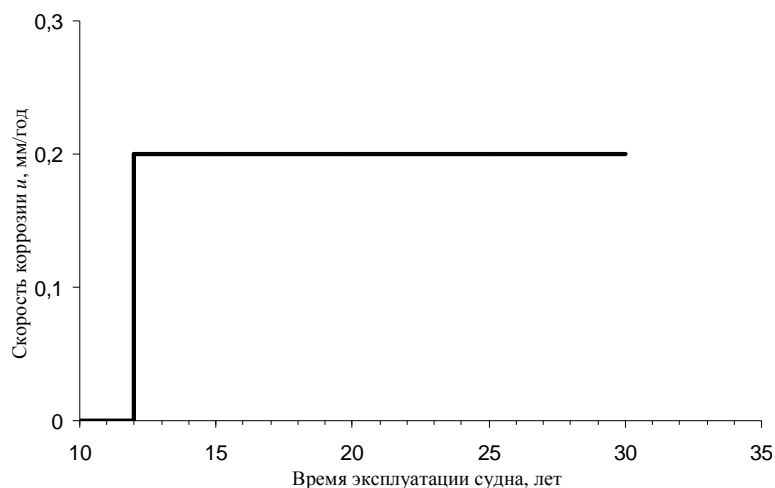
№	Элемент	Индекс/код элемента	Толщина требуемая, мм	Добавка на износ, мм	Фактическая толщина, мм	Коэффициент	Допускаемая остаточная толщина, мм	Допускаемые толщины, мм			Показатель вероятности повреждения
								$[S_1]^{P1}$	$[S_1]^{P2}$	$[S_1]^{P3}$	
			S	ΔS	S_{actual}	m_1	$[S_1]$	$[S_1]^{P1}$	$[S_1]^{P2}$	$[S_1]^{P3}$	P
1	Горизонтальный киль	Q11	13,0	1,20	17,45	0,8	9,43	11,92	10,50	9,43	1
2	Днищевая обшивка	A10	15,6	1,20	11,45	0,8	11,55	14,41	12,77	11,55	4
3	Днищевая обшивка	B9	15,6	1,20	11,45	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	4
4	Днищевая обшивка	C7	15,6	1,20	11,45	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	4
5	Днищевая обшивка	D6	15,6	1,20	11,45	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	4
6	Днищевая обшивка	E5	15,6	1,20	11,45	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	4
7	Скуловой пояс	F7	15,6	1,20	12,90	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	3
8	Скуловой пояс	G8	15,6	1,20	14,35	0,8	11,52	14,38	12,74	11,52	2
9	Бортовая обшивка	H11	9,8	1,20	13,60	0,7	6,00	8,64	7,14	6,00	1
10	Бортовая обшивка	I11	9,8	1,20	13,60	0,7	6,00	8,64	7,14	6,00	1
11	Бортовая обшивка	J11	11,1	1,20	13,55	0,7	6,91	9,82	8,16	6,91	1
12	Бортовая обшивка	K11	11,1	1,20	13,40	0,7	6,91	9,82	8,16	6,91	1
13	Бортовая обшивка	L10	11,1	1,20	13,40	0,7	6,91	9,82	8,16	6,91	1
14	Бортовая обшивка	M10	9,8	1,20	13,50	0,7	6,00	8,64	7,14	6,00	1
15	Ширстрек	S10	18,0	1,20	17,60	0,8	13,44	16,63	14,81	13,44	1
$P\Sigma =$											2,13

Таблица 6

Расчет показателей вероятности повреждения элементов верхней палубы

№	Элемент	Индекс/код элемента	Толщина требуемая, мм	Добавка на износ, мм	Фактическая толщина, мм	Коэффициент	Допускаемая остаточная толщина, мм	Допускаемые толщины, мм			Показатель вероятности повреждения
								$[S_1]^{P1}$	$[S_1]^{P2}$	$[S_1]^{P3}$	
			S	ΔS	S_{actual}	m_1	$[S_1]$	$[S_1]^{P1}$	$[S_1]^{P2}$	$[S_1]^{P3}$	P
1	Палубный стрингер	H8	20,0	2,76	18,10	0,8	13,79	18,14	15,65	13,79	2
2	Настил верхней палубы	A9	16,0	2,76	15,65	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
3	Настил верхней палубы	B9	16,0	2,76	15,50	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
4	Настил верхней палубы	C9	16,0	2,76	15,80	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
5	Настил верхней палубы	D9	16,0	2,76	15,65	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
6	Настил верхней палубы	E9	16,0	2,76	15,65	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
7	Настил верхней палубы	F9	16,0	2,76	15,55	0,8	10,59	14,38	12,21	10,59	1
8	Настил верхней палубы	G9	18,0	2,76	19,55	0,8	12,19	16,26	13,93	12,19	1
$P\Sigma =$											1,13

Зная показатель вероятности и показатель последствия неисправности, можно вычислить степень риска для каждого элемента конструкции и группы связей в целом. Здесь надо отметить, что для каждого элемента конструкции в группе связей последствие повреждения одинаково и имеет то же значение, что и у группы, поскольку элементы конструкции в группе выполняют одну и ту же функцию.



Модель скорости коррозии

Результаты расчета степени риска неисправности элемента конструкции во время освидетельствования и через некоторый промежуток времени представлены в табл. 7, где P – показатель вероятности повреждения; C – показатель последствий повреждения; R – степень риска неисправности элементов конструкции.

Таблица 7

Степени риска неисправности элементов конструкции со временем

Время эксплуатации судна, лет	Группы связей конструкции					
	Наружная обшивка			Верхняя палуба		
	P	C	R	P	C	R
0	2	3	5	1	4	5
5	2	3	5	1	4	5
7	2	3	5	2	4	6
10	3	3	6	2	4	6
13	3	3	6	3	4	7
15	4	3	7	3	4	7
18	4	3	7	3	4	7
20	4	3	7	4	4	8
25	4	3	7	4	4	8

Из результата расчета риска видно, что общий риск листовых элементов наружной обшивки достигает недопустимого уровня на 15-м году, а для верхней палубы начинается с 13-го года с момента измерения толщин.

Заключение

Таким образом, нами описана процедура контроля технического состояния корпуса судна на основе оценки риска. Начиная с осмотра и выявления областей с высоким риском, следующим шагом будет модификация программы освидетельствования, основанной на этих результатах. Учитывая текущие и будущие риски для конструкций корпуса судна, модификация программы освидетельствования может быть осуществлена двумя способами:

- корректировкой объема освидетельствования;
- корректировкой графиков освидетельствования.

Методика может быть отправной точкой для развития программы освидетельствования на основе оценки риска. Концепции и логика, разработанные здесь, должны быть проверены и протестированы, применение рекомендуется в сотрудничестве с судовладельцем или фрахтователем. Предполагается, что применение методики приведет к повышению уровня надежности и значительно уменьшит число инцидентов и несчастных случаев, которые наносят ущерб имуществу, персоналу и окружающей среде. Кроме того, это позволит уменьшить затраты при осмотре, техническом обслуживании и ремонте старых судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IMO. MSC Circ. 1023/MEPC Circ. 392, Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-making Process, 2002.
2. Хоанг Минь Шон, Лубенко В. Н., Тряскин В. Н. Контроль технического состояния конструкций корпуса судна с применением методов оценки риска // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. – 2012. – № 2. – С. 51–58.
3. American Bureau of Shipping. Guide for Risk Evaluations for the Classification of Marine-Related Facilities, 2003: www.eagle.org/...Guides/...RiskEvalforClass.
4. Инструкция по определению технического состояния, обновлению и ремонту корпусов морских судов // Правила классификационных освидетельствований судов в эксплуатации. Прил. 2. – СПб.: РМРС, 2012. – С. 297–342.
5. Правила классификации и постройки морских судов. Т. 1. – СПб.: РМРС, 2012. – 488 с.
6. Risk based Life Cycle Management of Ship Structures / В. М. Ayyub et al. // Ship Structure Committee, Prediction of structural response in grounding application to structural design, SSC 416, SR-1407, 2000.

REFERENCES

1. IMO. MSC Circ. 1023/MEPC Circ. 392, Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-making Process, 2002.
2. Khoang Min' Shon, Lubenko V. N., Triaskin V. N. Kontrol' tekhnicheskogo sostoianiiia konstruktсии korpusa sudna s primeneniem metodov otsenki riska [Control of technical state of the constructions of the ship hull using the methods of risk assessment]. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia, 2012, no. 2, pp. 51–58.
3. American Bureau of Shipping, Guide for Risk Evaluations for the Classification of Marine-Related Facilities, 2003: www.eagle.org/...Guides/...RiskEvalforClass.
4. Instruktсииa po opredeleniiu tekhnicheskogo sostoianiiia, obnoveniiu i remontu korpusov morskikh sudov [Guideline for determination of technical state, renewal and repair of ship hulls]. Pravila klassifikatsionnykh osvidetel'stvovanii sudov v ekspluatatsii [Regulations on classifying examination of ships in exploitation]. Prilozhenie 2. Saint Petersburg, RMRS, 2012, pp. 297–342.
5. Pravila klassifikatsii i postroiки morskikh sudov [Regulations on classification and building of marine vessels]. Saint Petersburg, RMRS, 2012. 488 p.
6. Ayyub B. M. et al. Risk based Life Cycle Management of Ship Structures. Ship Structure Committee, Prediction of structural response in grounding application to structural design, SSC 416, SR-1407, 2000.

Статья поступила в редакцию 25.01.2013

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Хоанг Шон Минь – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Судостроение и энергетические комплексы морской техники»; hminhson@yahoo.com.

Hoang Son Minh – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Shipbuilding and Power Complexes of Marine Equipment"; hminhson@yahoo.com.