

УДК 629.5.023-192 : 629.5.017

Методика оценки надежности корпуса судна

Н.Е. Петрова

Судомеханический факультет МА МГТУ, кафедра технологии металлов и судоремонта

Аннотация. В статье предложена методика и программное обеспечение оценки надежности корпуса судна по выходным параметрам износа его элементов, полученных путем диагностирования.

Abstract. The methodic and program supply of evaluation of vessel hull reliability has been proposed. Evaluation has been calculated using information of elements' deterioration received by the diagnostic method.

1. Введение

Безопасность мореплавания – наиболее актуальная проблема в области эксплуатации водного транспорта. Опасность для жизни людей может быть вызвана различными обстоятельствами: ошибками, допущенными судоводителями, недочетами при проектировании и постройке судна, воздействием неблагоприятных внешних факторов, отказами судовых технических средств (СТС), повреждением корпусных конструкций судна.

Для повышения эффективности эксплуатации судна необходимо применение практических методов исследования надежности судовых технических средств. Только на основе анализа надежности можно разработать мероприятия по повышению их долговечности, обосновать периодичность эксплуатационно-ремонтных циклов, сформулировать требования к надежности судовых технических средств с учетом заданных условий эксплуатации. Решению этой задачи посвящены труды Л.В. Ефремова, А.С. Проникова (1978), А.Г. Варжапетяна (1969), Р.В. Кузьмина, И.А. Мишина, О.Р. Смирнова, Я.Б. Шора (1968) и других исследователей, в которых рассматриваются вопросы прогнозирования технического состояния и надежности судовых технических средств.

Одним из важнейших факторов обеспечения безопасности мореплавания является техническое состояние корпуса судна. В этой связи актуальное значение имеют исследования, направленные на разработку методик оценки и прогнозирования технического состояния судна с использованием способов безразборной технической диагностики.

2. Методическое и программное обеспечение для оценки надежности элементов корпуса судна

В настоящей статье предложена методика статистической обработки результатов дефектаций однотипных судов с целью контроля технического состояния корпуса судна с учетом вероятностной природы износа его элементов. Практическая значимость и научная новизна работы состоит в применении теории и практики надежности для разработки инженерного способа оценки долговечности элементов корпуса судна.

Одним из показателей долговечности может быть принят технический ресурс объекта, однако к элементам корпуса судна применение термина "ресурс" не совсем корректно, так как ресурс определяется наработкой. Корпус судна подвержен влиянию волновых нагрузок, процессов коррозии и т.д., даже если судно стоит у причала, поэтому к элементам корпуса более правильно применять определение "срок службы".

В целях обеспечения безопасности износ корпусных конструкций регламентируется назначенными нормативами, так как при достижениями параметрами критических значений могут возникнуть аварийные ситуации. Таким образом, при оценке долговечности элементов корпуса судна целесообразно применять термин "назначенный срок службы", который может быть и больше срока службы судна в случае, если износ рассматриваемой зоны минимален. Однако для характеристики долговечности более объективно использовать показатель "гамма-процентный срок службы" элемента с учетом вероятностной природы изнашивания для определения недостижения предельного состояния с вероятностью γ .

Наиболее трудоемкой частью методики является определение вероятностного закона и параметров распределения, поэтому большое значение имеет изучение аппроксимирующих свойств различных законов двухпараметрических распределений. Эта задача решалась в относительной системе координат:

$$\tau = t / t_{cp},$$

где t – текущее значение независимой переменной распределения; t_{cp} – ее математическое ожидание, путем сравнения относительных гамма-процентных ресурсов для нормального, логарифмически нормального, Вейбулла, гамма-распределения, равномерного и двухпараметрического экспоненциального законов с учетом доверительных границ.

Было доказано, что наилучшими аппроксимирующими свойствами обладает распределение Вейбулла, и оно может быть рекомендовано для всех случаев обработки информации.

Выбора распределения с наилучшими аппроксимирующими свойствами недостаточно для построения вероятностной модели повреждения. В рассматриваемой методике учитывается процесс старения с линейной характеристикой, описываемый через среднюю износостойкость и распределение Вейбулла:

$$t_{\gamma} = \frac{H_{np} - H_y}{K(b)} c_{cp} \left(\ln \frac{1}{\gamma} \right)^{\frac{1}{b}},$$

где b – параметр формы; $K(b)$ – коэффициент параметра масштаба; c_{cp} – средняя износостойкость; H_{np} – предельно допустимый размер; H_y – установочный размер; γ – заданная вероятность недостижения предельного состояния.

Данная модель убедительно доказывает, что ресурс находится в прямой зависимости от износостойкости c :

$$t_R = c (H_{np} - H_y)$$

и, следовательно, подчиняется тому же закону, что и износостойкость.

В методике оригинально решен вопрос об определении параметров распределения и проверке их согласия с эмпирическими данными. В трудах Л.В. Ефремова (1976; 1980) рекомендуется несколько способов определения параметров распределения. Наиболее простым является способ определения параметров a и b по средней величине X_{cp} и ее коэффициенту вариации V методом моментов.

Далее приводится обоснование модели повреждений листовых конструктивных элементов при износах. Основная задача заключается в определении гамма-процентного срока службы элементов корпуса судна t_{γ} . В литературных источниках доказано, что для износов можно принимать $\gamma = 0,8$ как величину контролируруемую, поэтому при выполнении исследований определялся только 80-процентный срок службы элементов корпуса судна.

Была использована линейная функция изнашивания вида

$$I(t) = v t,$$

где $I(t)$ – износ (изменение толщины листа) за время t ; v – скорость износа.

В качестве исходных данных для решения этой задачи были приняты замеры остаточных толщин S_i элементов корпуса судна через определенный период его эксплуатации t_i .

Зная построенную толщину элемента S_0 , можно вычислить скорость его износа:

$$v_i = (S_0 - S_i) / t_i,$$

но целесообразнее использовать величину, обратную скорости износа, – износостойкость:

$$c_i = 1 / v_i,$$

тогда

$$c_i = t_i / (S_0 - S_i).$$

Таким образом, получаем выборочную совокупность v_i или c_i объемом выборки N .

Достоверность дальнейших расчетов во многом зависит от точности измерений и предварительной подготовки статистической информации к обработке.

Исходные данные для расчета вероятности недостижения предельного состояния и гамма-процентного срока службы элементов корпуса судна:

$$\gamma(X, X_{cp}, V) = e^{-\left(\frac{X}{a(X_{cp}, V)}\right)^{b(V)}},$$

где

$$V(b) = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}.$$

В первую очередь необходимо произвести измерения остаточных толщин выбранных элементов по максимально возможной выборке однотипных судов (не менее 3-5 судов).

Вторым важным шагом является установление изменения исследуемого параметра. В соответствии с требованиями *Правил Регистра* (2004) допускаемая остаточная толщина листа (назначенная величина) при общем износе определяется по следующей формуле:

$$[S_1] = m_0 S_0,$$

где m_0 – коэффициент износа; S_0 – построечная толщина листа, мм.

Таким образом, срок службы листового конструктивного элемента можно определить по следующей формуле:

$$R = \frac{T(1 - m_0)}{1 - \frac{S_1}{S_0}}$$

Исходные данные для расчета целесообразно разместить на листе таблиц Excel (см. пример в табл. 1). Дальнейший расчет выполняется в правой части этой же таблицы (см. пример в табл. 2). При этом программные команды выполняются по координатам соответствующих клеток (номер столбца и строки).

В 13-18-м столбцах табл. 2 показаны сроки службы i -го элемента в годах в зависимости от износостойкости для каждого судна. При минимальном износе полученный ресурс больше срока службы судна и является условной величиной, но в данном расчете интерес представляют данные нижней границы, близкой к сроку проведения последней дефектации.

Результаты расчета гамма-процентных сроков службы в годах представлены в последнем, 24-м столбце таблицы.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

№ п/п	Номер элемента	Шпангоут	Борт	Построечная толщина, мм S_0	m_0	1	2	3	4	5	6
						судно	судно	судно	судно	судно	судно
						Остаточная толщина, мм					
						S_1	S_1	S_1	S_1	S_1	S_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	62	42 - 46	ЛБ	7,5	0,8	6,15	6,70	6,70	7,00	7,50	7,00
2	64	42 - 46	ПрБ	7,5	0,8	6,70	6,60	6,60	6,60	6,50	6,70
3	65	42 - 46	ПрБ	10,0	0,8	8,85	9,27	10,00	9,75	9,50	9,70
4	66	42 - 46	ПрБ	7,0	0,8	6,05	6,20	6,20	6,43	6,05	6,30
5	67	42 - 46	ПрБ	10,5	0,8	9,05	9,30	9,05	9,40	10,05	8,90
6	79	37 - 42	ПрБ	10,5	0,8	9,25	9,00	8,70	9,35	9,95	8,70
7	83	33 - 37	ПрБ	10,5	0,8	9,40	8,95	9,40	9,85	9,90	9,85
8	89	29 - 37	ЛБ	6,5	0,8	6,23	6,23	6,23	6,50	6,50	6,50
9	90	29 - 37	ПрБ	6,5	0,8	6,27	6,27	6,27	6,50	6,50	6,50
10	95	29 - 33	ПрБ	10,5	0,8	9,10	9,10	9,07	10,45	10,00	8,50

Таблица 2. Расчет гамма-процентных сроков службы листовых элементов корпусных конструкций в годах

Срок службы, год						X_{cp}	V	b	$K(b)$	a	γ -проц. срок службы, год
1 судно	2 судно	3 судно	4 судно	5 судно	6 судно						
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
16,7	28,1	28,1	45,0	100,0	45,0	43,8	0,676	1,53	0,901	48,65	18,2
28,1	25,0	25,0	25,0	22,5	28,1	25,6	0,084	14,57	0,965	26,56	24,0
26,1	41,1	100,0	100,0	60,0	100,0	71,2	0,468	2,28	0,886	80,37	41,6
22,1	26,3	26,3	36,8	22,1	30,0	27,3	0,204	5,60	0,924	29,49	22,6
21,7	26,3	21,7	28,6	70,0	19,7	31,3	0,614	1,70	0,892	35,12	14,5
25,2	21,0	17,5	27,4	57,3	17,5	27,6	0,545	1,93	0,887	31,17	14,3
28,6	20,3	28,6	48,5	52,5	48,5	37,8	0,358	3,05	0,894	42,34	25,9
72,2	72,2	72,2	100,0	100,0	100,0	86,1	0,177	6,55	0,932	92,38	73,5
84,8	84,8	84,8	100,0	100,0	100,0	92,4	0,090	13,57	0,962	95,99	85,9
22,5	22,5	22,0	100,0	63,0	15,8	41,0	0,820	1,24	0,933	43,89	13,1

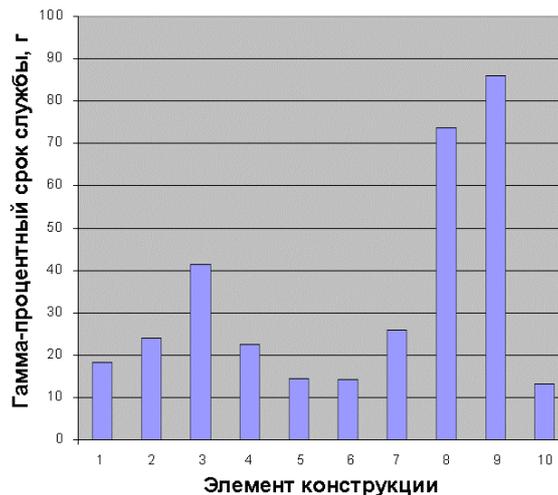


Рис. График распределения сроков службы элементов конструкции корпуса судна

На рисунке приведен график распределения сроков службы по элементам конструкции, по которому наглядно можно определить места наиболее интенсивных износов. Таким образом, повышенному контролю должны подвергаться те элементы корпуса судна, ресурс которых меньше продолжительности эксплуатационно-ремонтного периода.

3. Заключение

Определение гамма-процентных сроков службы элементов корпуса судна позволяет систематизировать результаты дефектаций и использовать их судовладельцами для повышения эффективности управления эксплуатацией судов одного типа с целью:

- принятия правильного решения по уточнению объемов дефектации;
- ведения контроля за техническим состоянием корпусных конструкций в "сомнительных зонах" (зонах, подверженных наибольшему износу);
- использования накопленного опыта для разработок конструктивно-технологических мероприятий.

При обновлении корпусов судов на соответствие их технического состояния на уровень обновления 1SS или 2SS применение предложенной методики позволит планировать необходимый объем ремонта.

На основе анализа надежности можно не только оценивать, но и прогнозировать техническое состояние элементов корпуса судна, что поможет разработать мероприятия по повышению их долговечности, обосновать межремонтные периоды, сформулировать требования по надежности применительно к заданным условиям эксплуатации.

Литература

- Варжапетян А.Г.** Техническая эффективность и надежность судовых систем управления. *Л., Судостроение*, 268 с., 1969.
- Ефремов Л.В.** Аппроксимирующие распределения вероятностей для анализа и прогнозирования надежности изделий. *Вестн. машиностроения*, № 8, с.59-62, 1976.
- Ефремов Л.В.** Практика инженерного анализа надежности судовой техники. *Л., Судостроение*, 176 с., 1980.
- Проников А.С.** Надежность машин. *М., Машиностроение*, 591 с., 1978.
- Российский морской регистр судоходства. Правила классификационных освидетельствований судов. *СПб., Российский морской регистр судоходства*, 285 с., 2004.
- Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И.** Таблицы для анализа и контроля надежности. *М., Сов. радио*, 284 с., 1968.