

Ефремов Л.В., Баева Л.С., Петрова Н.Е.

### **Методическое и программное обеспечение оценки гамма – процентных ресурсов элементов корпуса судна.**

Для обеспечения безопасности мореплавания большое значение имеет дефектация корпуса каждого судна в соответствии с инструкцией по определению технического состояния, обновлению и ремонту корпусов морских судов по Правилам классификационных освидетельствований судов (Приложение 2). Для этого судовладельцы в установленные Правилами сроки должны производить соответствующие измерения дефектов (включая остаточную толщину определенных элементов корпуса) и представлять Инспекции Регистра отчеты с заполненными формами регистрации замеров параметров корпуса с дефектами. На этом основании дается оценка технического состояния корпуса (по трем уровням с учетом ограничения сроков эксплуатации) и принимается решение о ремонте судна по устранению выявленных дефектов.

Накопление указанных отчетов по однотипным судам со временем формирует ценнейшую базу данных для их статистической обработки и решения ряда важнейших проблем. К ним можно отнести выявление типичных дефектов и разработку конструктивно-технологических мероприятий по их устранению, совершенствование правил проектирования и постройки судов, а также уточнению сроков службы и периодичности ремонта судов.

Настоящая статья направлена на решение этой проблемы с учетом вероятностной природы изнашивания различных элементов корпуса с помощью новой оригинальной методики статистической обработки заполненных табличных форм. При этом разработан не только рабочий вариант методики, но и полное программное обеспечение этого исследования в двух популярных математических оболочках – электронных таблиц EXCEL и математической среды высокого уровня MATHCAD.

В качестве критерия технического состояния для каждого элемента корпуса принят так называемый гамма-процентный срок службы с учетом закона распределения Вейбулла, который обладает наилучшими аппроксимирующими свойствами.

Исходными данными для расчета служат табличные замеры остаточной толщины элементов корпуса по максимально возможно большей выборке судов (не менее 3-5 судов).

Эту базу данных целесообразно разместить на листе таблиц EXCEL (см. табл. 1).

На основании опыта применения предлагаемого метода следует сделать важное предупреждение.

В таблицах должны быть заполнены все ячейки с замерами и наличие пустых ячеек не допускается. Если в данной точке замеры не проводились, то, учитывая вероятностную природу износов, можно заполнить ячейку вероятной величиной, близкой к известным значениям в соседних ячейках по другим судам. В противном случае строка с данными износов должна быть исключена из таблицы.

Таблица 1

№ п/п	Номер элем.	Шпангоут	Борт	Постр. толщ., 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	1	95 - 97	ДП	7,5	0,7	7,70	7,47	7,23	7,37	7,20	7,25
2	2	92 - 95	ЛБ	7,5	0,7	7,20	7,15	7,33	7,40	7,30	7,10
3	3	92 - 95	ЛБ	6,5	0,7	6,05	6,13	6,27	5,95	6,10	6,30
4	4	92 - 95	ПрБ	6,5	0,7	6,15	6,15	8,30	6,27	6,20	6,10
5	5	92 - 95	ПрБ	7,5	0,7	7,35	7,85	7,50	7,50	7,40	8,00
6	6	87 - 92	ЛБ	7,5	0,7	7,30	7,55	7,37	7,20	7,25	7,80
7	7	87 - 92	ЛБ	6,5	0,7	6,20	6,23	6,17	6,30	6,30	6,10
8	8	87 - 92	ЛБ	6,5	0,7	6,20	6,05	5,60	6,20	6,20	6,10
9	9	87 - 92	ЛБ	7,5	0,7	7,20	7,20	7,25	7,03	7,20	7,10
10	10	87 - 92	ПрБ	7,5	0,7	7,10	7,00	7,25	7,17	7,20	7,20

Примечание: 1 столбец – порядковый номер элемента (листа); 2 столбец – номер элемента (листа) по схеме проведения замеров; 3 столбец – расположение элемента (листа) по шпангоутам; 4 столбец – борт судна, где расположен лист; 5 столбец – построечная толщина листа из отчетного (конструктивного) чертежа; 6 столбец – коэффициент  $m_0$  принятый по таблице 4.2.2.1-1 Приложения 2; 7...12 столбцы – замеры остаточных толщин листов по судам.

Дальнейший расчет выполняется в правой части той же таблицы (табл. 2). При этом программные команды выполняются по координатам соответствующих клеток (номер столбца и строки).

В столбцах 13...18 выполняется расчет срока службы каждого i-го элемента (листа) корпуса в годах по формуле:

$$R_i = T(1 - m_{0i}) / \left(1 - \frac{S_{1i}}{S_{0i}}\right)$$

где T — срок эксплуатации судна на момент проведения замеров (в данном случае – 15 лет), m<sub>0i</sub> — коэффициент для i-го элемента (6-й столбец таблицы 1); S<sub>0i</sub> — построечная толщина i-го элемента (5-й столбец таблицы 1); S<sub>1i</sub> — остаточная толщина i-го элемента (7-й...12-й столбцы таблицы 1 для каждого судна соответственно).

Из формулы видно, что при отсутствии износа (когда S<sub>1i</sub> = S<sub>0i</sub>) ресурс становится равным бесконечности или чрезмерно большим, например, при S<sub>0i</sub> > 0,97 S<sub>1i</sub>. Это может исказить результаты дальнейшего расчета статистических показателей. Поэтому, для учета этой особенности в программу внесены условные переходы, что видно по следующей формуле расчета ресурса в ячейке N-15:

«= \$L\$2\*(1-\$G\$15)/(1-ЕСЛИ(Н15/\$F\$15>=\$P\$2;\$P\$2;Н15/\$F\$15))»

Суть этого выражения более наглядно иллюстрируется фрагментом его расчета в редакторе MATHCAD на рис. 1.

Срок первых замеров	$T := 15$	Заградительный коэфф.	$K := 0.97$
Допустимая вероятность	$\gamma := 0.8$		
zc := cols(v1) - 1	zs := length(v1 <sup>&lt;0&gt;</sup> ) - 1	zc = 5	zs = 85
Столбцов	j := 0..zc	Строк	i := 0..zs

<b>Расчет ресурсов по точкам и судам</b>	$R_{i,j} :=$	$\frac{T \cdot (1 - v_{i,1})}{1 - \begin{cases} K & \text{if } K \leq \frac{v_{i,j}}{v_{i,0}} \\ K^2 & \text{if } v_{i,j} = 0 \\ \frac{v_{i,j}}{v_{i,0}} & \text{otherwise} \end{cases}}$	Примечание - Сделано ограничение для предотвращения получения нереально больших или неопределяемых ресурсов. В основу положен заведомо большой маральный износ судна

Рисунок 1

После автоматического расчета сроков службы по точкам замеров, показанных в таблице 1, программа оперативно выполняет в столбцах таблицы 2 расчет следующих статистических

показателей: среднего ресурса в столбце 19, коэффициента вариации в столбце 20, параметра формы распределения Вейбулла в столбце 21, коэффициента  $K(b)$  в столбце 22, параметра масштаба распределения  $a$  в столбце 23 и гамма – процентного ресурса в последнем столбце 24 таблицы 2.

При этом для расчета используются известные формулы из работы [1].

Таблица 2

1 судно	2 судно	3 судно	4 судно	5 судно	6 судно	Rcp	VV	b	K(b)	a	γ- проц. ресурс
ресурс	ресурс	ресурс	ресурс	ресурс	ресурс						
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
150,0	150,0	125,0	150,0	112,5	135,0	137,1	0,116	10,37	0,953	143,9	124,5
112,5	96,4	150,0	150,0	150,0	84,4	123,9	0,242	4,66	0,914	135,5	98,2
65,0	79,1	127,2	53,2	73,1	146,3	90,6	0,411	2,62	0,888	102,0	57,6
83,6	83,6	150,0	127,2	97,5	73,1	102,5	0,292	3,80	0,904	113,4	76,4
150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	0,000	100,0	0,994	150,9	148,6
150,0	150,0	150,0	112,5	135,0	150,0	141,3	0,108	11,12	0,955	147,8	129,2
97,5	108,3	88,6	146,3	146,3	73,1	110,0	0,276	4,04	0,907	121,3	83,7
97,5	65,0	32,5	97,5	97,5	73,1	77,2	0,338	3,24	0,896	86,1	54,2
112,5	112,5	135,0	71,8	112,5	84,4	104,8	0,217	5,23	0,921	113,8	85,4
84,4	67,5	135,0	102,3	112,5	112,5	102,4	0,232	4,88	0,917	111,6	82,1

Таким образом, результаты расчета искомого гамма - процентных сроков службы по точкам замеров располагаются в последнем 24-м столбце таблицы. При этом речь идет о сроке службы с начала эксплуатации, включая срок  $T = 15$  лет.

Второй вариант программы разработан в графическом редакторе MATHCAD, который позволяет не только получать результаты расчета, но и видеть все программные процедуры так, как будто они написаны в текстовом редакторе WORD (см. рис.2).

Наглядным результатом исследования является автоматическое построение графика распределения гамма процентных ресурсов по точкам замеров, показанной в нижней части рис. 2.

На график нанесена линия отработанного срока  $T = 15$  лет, что позволяет объективно оценивать наименее надежные места элементов корпуса.

### Расчет средних и гамма-процентных ресурсов с использованием закона Вейбулла

$$i := 1..zs + 1 \quad j := 1..zc + 1 \quad zc = 5 \quad zs = 85$$

$$Rs_{i,1} := \text{mean}[(R^T)^{\langle i-1 \rangle}] \quad Rs_{i,2} := \frac{\sqrt{\text{Var}[(R^T)^{\langle i-1 \rangle}]}{Rs_{i,1}} \quad Rs_{i,0} := i$$

$$Rs_{i,3} := \begin{cases} 100 & \text{if } Rs_{i,2} = 0 \\ (Rs_{i,2})^{-1.084} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Rs_{i,4} := \frac{Rs_{i,1}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{Rs_{i,3}}\right)} \quad Rs_{i,5} := Rs_{i,4} \cdot \ln\left(\frac{1}{\gamma}\right)^{Rs_{i,3}} - 0$$

$$Rs_{0,0} := \text{"точки"} \quad Rs_{0,1} := \text{"Rsr"} \quad Rs_{0,2} := \text{"KVar"} \quad Rs_{0,3} := \text{"b"} \quad Rs_{0,4} := \text{"a"} \quad Rs_{0,5} := \text{"Rgam"}$$

	0	1	2	3	4	5
0	"точки"	"Rsr"	"KVar"	"b"	"a"	"Rgam"
1	1	137.083	0.116	10.371	143.874	124.501
2	2	123.884	0.242	4.657	135.482	98.177
3	3	90.631	0.411	2.624	102.01	57.59
4	4	102.49	0.292	3.802	113.398	76.429
5	5	150	0	100	150.856	148.61

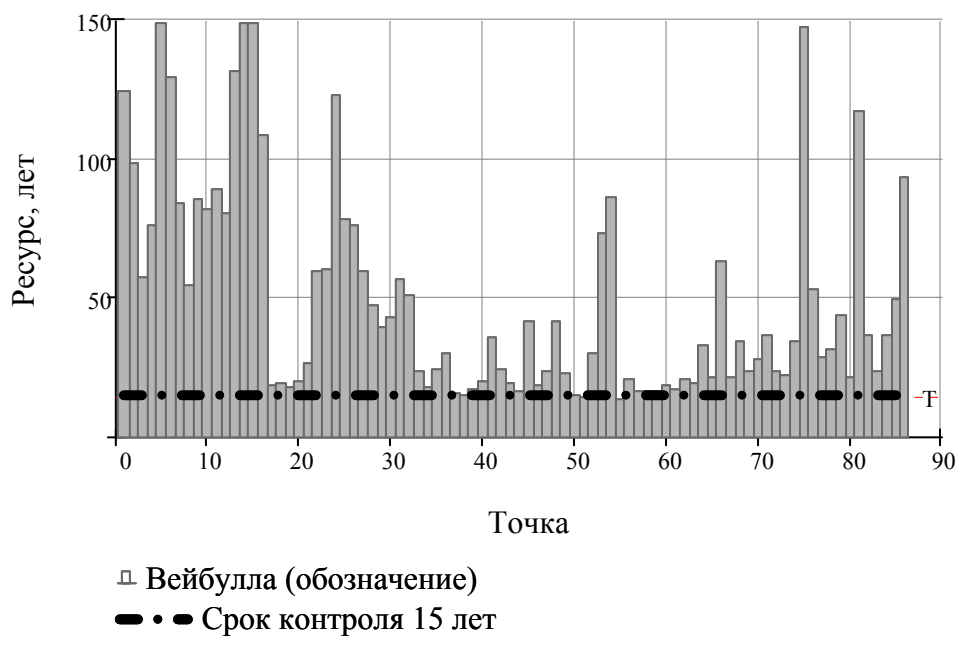


Рисунок 2

Например, из приведенного примера обработки данных по шести судам типа «Атлантик-333» следует, что наиболее интенсивный износ палубы наблюдается в районе траловой лебедки с наименьшим гамма - процентным сроком службы (точки 35 -45 на графике).

Такой результат не трудно объяснить условиями работы матросов на этой площадке.

Но были получены и неожиданные результаты – сравнительно небольшие гамма - процентные сроки службы палубы бака в районе брашпиля у цепного ящика.

На этом основании можно, во-первых, дать рекомендации по усилению или повышению износостойкости этих элементов еще при проектировании судов. Во-вторых, это позволяет заблаговременно включать в ремонтную ведомость работы по восстановлению этих участков палубы. В частности для этих мест разрабатываются новое эффективное антикоррозионное покрытие палубы.

Приведенная информация позволяет рекомендовать разработанную методику для широкого применения при наблюдении за эксплуатации судов в интересах Регистра.

Авторы данной статьи готовы принять участие в разработке соответствующего нормативного документа Регистра на основе предложенной и апробированной методики.

#### Литература.

1. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. — Л.: Судостроение, 1980. — 178 с.