

**В.В. Огнева, Е.Г. Бурмистров**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СКОРОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ КОРПУСОВ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО (РЕКА-МОРЕ) ПЛАВАНИЯ**

В процессе эксплуатации элементы корпусных конструкций судов подвергаются воздействию внешних факторов и эксплуатационных нагрузок. В результате этого воздействия возникают износы, повреждения и разрушения. Прогнозирование объемов и характера износов конструкций корпуса судна является важной задачей в обеспечении эффективной технической эксплуатации корпуса (главным образом в системе планово-предупредительных ремонтов). Однако, применяемые на сегодняшний день подходы к предварительному определению объемов ремонта с использованием средне-статистических скоростей изнашивания по группам элементов в большинстве случаев дает погрешность более 25% в сравнении с фактическими объемами ремонта. Таким образом, целесообразность подобного прогнозирования мало оправдана.

В общем случае погрешность обусловлена отсутствием учета рисков возникновения повреждений конструкций от ряда известных факторов. Ориентировочное значение объема неучтенных ремонтных работ вследствие этого составляет около 7–10 %. Они включают недопустимые повреждения (вмятины и гофрировки с критическими параметрами, трещины и т.д.) не обнаруженные в предремонтный период экипажем или береговыми службами. Оставшаяся доля погрешности (более 15%) прогнозирования объемов обуславливается использованием стандартных значений скоростей износов при определении технического состояния элементов конструкций. В реальных условиях скорости изнашивания стальных конструкций могут колебаться до двух раз, в зависимости от совокупности факторов, оказывающих влияние при эксплуатации. Таким образом, целесообразно принять новый подход прогнозирования износов и объемов ремонта корпусных конструкций судов, учитывающий условия эксплуатации.

На скорость изнашивания корпусных конструкций влияет ряд факторов. В результате проведения многолетних исследований было определено, что основное влияние оказывают [1,2]:

- особенности окружающей среды (соленость морской воды, ледовые условия, температуры воздуха и воды, скорость обтекания, степень загрязнения водоема);
- вид и качество антикоррозионной защиты (стойкость покрытий, качество их нанесения, расположение и эффективность электрохимической защиты);
- уровень технического обслуживания корпуса (качество и периодичность проводимых работ, своевременность восстановления защитных покрытий);
- антикоррозионные свойства сталей, их совместимость между собой и с используемыми электродами;
- конструктивные особенности корпусных конструкций (наличие мест, где могут скапливаться влага и различные вещества);
- технологические особенности строительства и проведения ремонтных работ (удаление окалины, температурные режимы гибки и правки элементов).

Перечисленные факторы характерны, прежде всего, для морских судов. Анализ исследовательских работ и накопленный опыт в области дефектации и прогнозирования износов корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного «река-море» плавания позволяет говорить о роли в динамике изнашивания их конструкций следующего ряда дополнительных факторов:

- время эксплуатации судна в соленой и пресной воде;
- время холодного отстоя судна;
- особенности района эксплуатации судна, обуславливающие количество свар-

товных операций, глубину судового хода (расстояние от днища судна до дна водоема).

Также скорости коррозионного изнашивания одного и того же корпуса в значительной мере варьируются для различных элементов, районов и поясов.

Базовым фактором, оказывающим воздействие на изнашивание всех конструкций является марка стали, а точнее ее стойкость к коррозии [3]. Существует формализованное представление коррозионной стойкости металла в форме шкалы.

Отмечается, что скорость коррозии низколегированных сталей в атмосферных условиях ниже, чем углеродистых. При этом разница составляет порядка 0,01 мм. Скорость коррозии различных сталей в условиях морской воды приблизительно одинакова.

В таблице 1, приведены средние значения скоростей коррозионного изнашивания групп элементов наружной обшивки, изготовленных из различных марок сталей. [1].

Таблица 1

**Скорость коррозии по различным маркам стали**

Наименование связи	Скорость коррозионного износа, мм/год		
	ОУС	09Г2	10ХСНД
Горизонтальный киль	0,252	0,308	0,096
Днищевая обшивка	0,174	0,199	0,078
Скула	0,206	0,288	0,078
Обшивка борта	0,152	0,163	0,120
Скорость распространения язв на обшивке днища	–	0,78	0,76

Поскольку приведенные в таблице 1 значения являются осредненными по прочим факторам, то можно говорить о том, что динамика, выраженная данными значениями отображает характер влияния исключительно свойств стали на скорость изнашивания определенных групп связей. Таким образом, на основании приведенных таблиц можно сделать вывод о том, что наиболее стойкой к износу из рассматриваемых марок является сталь 10ХСНД, а наиболее подверженной – 09Г2. Скорость распространения язв наиболее велика также для стали 09Г2 и 10ХСНД.

Качество обработки поверхности металла также в значительной мере сказывается на скорости и характере распространения коррозионного износа. Большое влияние оказывает состояние и качество лакокрасочного покрытия, а также качество его нанесения и предварительная очистка металла. Разрушение защитных покрытий в процессе эксплуатации приводит к возникновению анодных и катодных участков корпуса. Как следствие – увеличивается скорость коррозии. Кроме того повышается риск образования подводной части корпусных конструкций.

Наряду с факторами, определяющимися особенностями корпусных конструкций и качеством ремонтных работ следует выделить группу факторов, входящих в состав характеристик внешней среды. К ним следует отнести температуру, соленость воды, глубину судового хода и т.д.

Увеличение температуры воды способствует интенсификации протекания коррозионных процессов в металле корпуса. Эксплуатация судов в теплых бассейнах провоцирует интенсификацию процессов обрастания корпуса судна, усиливающих как язвенную так и равномерную коррозию обшивки. В качестве примера варьирования скоростей изнашивания при эксплуатации судов в бассейнах с различной температурой воды представлены данные таблицы 2 [1].

В таблице содержатся данные, полученные преимущественно при эксплуатации судов в соленой воде, но с разными температурами. Исходя из этого, можно судить о

существенной разнице скоростей коррозионного изнашивания при эксплуатации судов в различных климатических зонах ( до 0,19 мм/год). При этом установлено, что скорость изнашивания конструкций при работе в тропических морях в 2–2,5 раза выше, чем в обычных условиях.

Таблица 2

**Особенности для распространения коррозии в обшивке корпуса для судов по различным бассейнам**

Наименование связи	Скорость изнашивания элемента, мм/год		
	Северный бассейн	Балтика	Дальневосточный бассейн
Килевой пояс	0,056	0,169	0,228
1. Пояс днища от ДП	0,043	0,138	0,151
2. Пояс днища от ДП	0,032	0,108	0,154
3. Пояс днища от ДП	0,053	0,115	0,146
Скула	0,071	0,261	0,193
Пояс переменной ватерлинии	0,09	0,270	0,185

Следующим фактором внешней среды является соленость воды. Морская вода представляет собой раствор набора солей (главным образом хлоридов, сульфатов и карбонатов натрия, магния, калия, кальция и т.д.). Соленая вода является агрессивной средой с высокой электропроводностью, усиливающей протекание коррозионных процессов в металлах. Как следствие, скорость коррозии корпусов судов в значительной мере зависит от времени их пребывания в морской воде и солености воды. При длительной эксплуатации в таких условиях (более 90 сут.), скорость коррозионного изнашивания обшивки корпусов судов смешанного плавания, приближается к скорости изнашивания элементов морских судов. Согласно статистическим данным, большая часть судов смешанного плавания находится в морских районах от 50 до 90 суток в год, а средние скорости изнашивания обшивки подводной части таких судов составляют 0,07–0,09 мм/год (данные преимущественно для судов, изготовленных из стали марки 09Г2). При этом экстремальные значения скоростей изнашивания фиксируются в зонах термического влияния сварных швов [5].

Значительное влияние на скорость утонения днищевой обшивки оказывает эрозийное изнашивание, возникающее при работе судна на мелководье. В таких условиях средняя скорость изнашивания составляет 0,1–0,11 мм/год, а максимально наблюдаемая – 0,17 мм/год. При этом данные средних скоростей износов судов, эксплуатирующихся без влияния мелководья, составляют порядка 0,05–0,07 мм/год.

Температура, соленость воды (район плавания в целом), время стоянок и холодного отстоя определяют характер и скорость обрастания подводной части корпуса. Это явление приводит к значительной потере скорости движения, а также усиленному язвенному корродированию погруженной металлоконструкции. Наиболее характерно это явление для морских судов, работающих в условиях субтропического климата.

Род перевозимого груза оказывает влияние на ряд элементов корпуса, контактирующих с ним. Скорость их изнашивания может варьироваться в разы. Согласно статистическим данным, наибольшими скоростями изнашивания характеризуются суда, перевозящие нефтепродукты и агрессивные грузы [5]. Средние и максимальные значения скоростей износа грузовой зоны различных типов судов приведены в таблице 3.

Скорость коррозии конструкций грузовых танков нефтеналивных судов определяется свойствами перевозимого груза, а также температурой груза, частотой горячей мойки танков, приемом в них балласта, наличием протекторной защиты и коррозионными свойствами металла. Наибольшая скорость коррозии грузовой зоны нефтена-

ливных судов наблюдается при перевозке сернистой нефти с большим количеством коррозионно-активных соединений. Под их воздействием происходит интенсивное образование язв на горизонтальных поверхностях, скорость развития которых составляет до 2–3 мм/год.

Таблица 3

**Скорости изнашивания корпусных конструкций грузовой зоны**

Род перевозимого груза	Средняя скорость изнашивания, мм/год	Максимальная скорость изнашивания, мм/год
Нефтепродукты (в среднем по всем классам)	0,14–0,17	0,2–0,25
Агрессивные грузы	0,1–0,13	0,2
Палубы судов-площадок	0,1–0,11	0,17

Следует отметить, что огромное влияние оказывает прием балласта в танки. При этом скорость коррозии конструкций грузовой зоны может составлять до 1,5 мм/год, а при приеме балласта в специально предназначенные для этого цистерны и отсеки скорость коррозии составляет, как правило, не более 0,2 мм/год. Статистика показывает, что на большинстве судов, перевозящих бензин, требуется замена всех конструкций грузовой зоны через 8–9 лет круглогодичной эксплуатации. Для речных судов это значение составляет порядка 13 лет. Наряду в нефтеталивных судами интенсивной коррозии подвержены и суда-химовозы. Скорость изнашивания их грузовой зоны может достигать 0,2 мм/год.

Сухогрузные суда в меньшей мере подвержены изнашиванию грузовой зоны, однако при разгрузке-погрузке грейферами увеличивается эрозионное истирание обшивки грузовой зоны и риск повреждений соответствующих конструкций.

Возраст конструкции в ряде случаев принимается во внимание при определении скорости изнашивания. Однако, влияние этого фактора неоднозначно. Новые конструкции имеют меньшую скорость распространения равномерного износа благодаря качеству структуры, обработки поверхности и качеству защитных покрытий. С изнашиванием ЛКМ коррозия происходит интенсивнее, а повторная обработка поверхности при ремонте не всегда обеспечивает высокое качество нанесения покрытий. Таким образом, с устареванием конструкции степень подверженности коррозии увеличивается. В тоже время известно, что скорости местного коррозионного износа в первые 8-10 лет эксплуатации судов в 2–2,5 раза выше скоростей равномерного изнашивания [5]. По прошествии этого периода времени язвы образуют сплошную изношенную поверхность и характер износа становится равномерным. При этом скорость уменьшения толщины металла замедляется. Приведенные сведения создают некоторое противоречие в вопросе влияния возраста конструкции на скорость ее коррозионного изнашивания. Для достоверной оценки этого воздействия были проанализированы статистические данные о скоростях износа конструкций корпусов судов за различные периоды времени. Скорости износа различных элементов на протяжении трех 10-летних интервалов времени остаются практически неизменными. Незначительное отличие значений (0,002 мм/год) отмечается лишь по настилу двойного дна. Отсюда можно сделать вывод, что возраст конструкции не влияет в значительной степени на скорость распространения коррозионного износа в металле.

С целью предотвращения активной коррозии на судах предусматриваются различные виды защиты. Основные виды защиты корпусов это противокоррозионные и противообрастающие лакокрасочные и металлизационные покрытия и электрохимическая защита.

Изнашивание различных участков корпусных конструкций также имеет разных характер и динамику. Отличие скоростей износов различных элементов корпуса судна

может составлять до 5 раз. Частота и характер повреждений конструкций, также в значительной мере зависит от района и пояса. Российский Речной Регистр приводит рекомендуемые средние скорости изнашивания (мм/год) для различных элементов судовых конструкций. Значения этих скоростей представлены в таблицах Правил.

Существуют статистические данные о средних скоростях равномерного изнашивания корпусов судов, полученные по методике ЦНИИМФа [6]. Они применяются, главным образом, для получения надбавок на коррозионный износ при проектировании судов.

Вышеизложенный анализ факторов, влияющих на скорости изнашивания корпусных конструкций судов внутреннего и смешанного плавания, показывает, что влияние описанных факторов является значительным при определении скоростей износов. При этом возраст конструкции допустимо не учитывать, по причине отсутствия характерной динамики изменения скоростей изнашивания в зависимости от этого фактора. Значения при варьировании одного фактора и прочих равных условиях может изменяться в значительной степени. Диапазоны скоростей изнашивания при влиянии каждого из рассмотренных факторов приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Диапазон скоростей изнашивания при влиянии одного фактора при прочих равных условиях**

Наименование фактора	Скорость коррозии, мм/год		Разница, мм/год
	минимальная	максимальная	
Марка стали	0,078	0,288	0,15
Качество ремонта и покрытий	0,03	0,2	0,17
Соленость воды	0,032	0,228	0,196
Температура воды			
Род перевозимого груза	0,03	0,25	0,22
Мелководье	0,03	0,17	0,14
Защита	0,03	0,09	0,06
Элемент корпуса	0,03	0,18	0,15

Определения точного влияния каждого возможного варианта проявления факторов получено выполнением детального анализа статистических данных. В результате общая скорость изнашивания получена как совокупность скоростей, вызванных каждым внешним воздействием. Подобный подход позволяет повысить точность прогнозирования в среднем более чем на 15%. При этом оставшаяся погрешность может быть нивелирована за счет учета рисков возникновения повреждений. В итоге, качество прогнозирования может обеспечить точность до 5% объема (по массе металла) ремонтных работ.

#### Список литературы:

- [1] Новиков В.В. Эксплуатационный ресурс судна: монография/ В.В. Новиков, Г.П. Турмов. – Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013. – 200 с.: 82 ил.
- [2] Максимаджи А.И. Оценка технического состояния корпусов морских судов/ А.И. Максимаджи, Л.М. Беленький, А.С. Брикер, А.Ю. Неугодов. – Л.: Судостроение, 1982.- 156 с.
- [3] Баранник В.П. Краткий справочник по коррозии. – М.: Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1953.- 454 с.
- [4] Ремонт речных судов. Справочник. Под ред. А.Ф.Видецкого. – М.: Транспорт, 1988.- 431 с.
- [5] Лопырев Н.К. Технология судоремонта/ Н.К. Лопырев., П.П. Немков, Ю.В. Сумеркин. – М.: Транспорт, 1981. – 286 с.
- [6] Юнитер А.Д. Справочник судоремонтника-корпусника/ А.Д. Юнитер, Э.П. Немцева, Н.М. Кохан, В.И. Друг, Ю.Е. Зобачев. – М.: Транспорт, 1977. – 352 с.