

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
1. Контроль эксплуатационной прочности промысловых судов: формальные модели	10
1.1. Условия эксплуатации, причины старения корпусов судов ФРП и их влияние на объемы ремонта	10
1.2. Виды эксплуатационных дефектов и основные закономерности их распределения	13
1.3. Основные закономерности распределения коррозионного износа	16
1.4. Анализ погрешности измерения средней толщины изношенных листов при ограниченном числе замеров	25
1.5. Закономерности повреждений корпусов судов ФРП	28
1.6. Влияние коррозионного износа на общую и местную прочность корпуса	32
1.7. Допустимые сроки эксплуатации. Нормативы на износ и повреждения корпуса судна	36
1.8. Постановка задачи контроля эксплуатационной прочности промысловых судов	40
Контрольные вопросы для самопроверки	45
2. Накопление повреждений корпусов судов	46
2.1. Математическая модель повреждаемости корпусов судов ФРП	46
2.2. Прогнозирование параметров эксплуатационных дефектов с постоянными граничными условиями	58
2.3. Экспериментальное изучение влияния истории нагружения пластин на изменение их прогибов при развитых упругопластических деформациях	64
2.4. Моделирование процесса накопления прогибов судовых пластин при случайном эксплуатационном нагружении	69
Контрольные вопросы для самопроверки	74
3. Совершенствование нормативных ограничений на параметры корпусных дефектов	76
3.1. Нормирование общей прочности корпусов судов, содержащих эксплуатационные дефекты	77
3.2. Нормативные ограничения на параметры бухтин	87
3.3. Оценка степени опасности язвенной коррозии	92
3.4. Применение вероятностных подходов при формулировании критерия нормативных ограничений при гофрировке	96
3.5. Использование вероятностных принципов при ограничении параметров дефектов типа вмятин	104
Контрольные вопросы для самопроверки	110

4. Влияние коррозионного износа на долговечность элементов судокорпусных конструкций	111
4.1. Усталостные повреждения корпусных конструкций	111
4.2. Основные характеристики язвенного коррозионного износа	113
4.3. Результаты исследований по оценке влияния коррозионного износа на выносливость наружной обшивки и настилов палуб корпусов судов	120
4.4. Исследование влияния коррозионного износа на выносливость элементов корпусных конструкций на примере тавровых соединений	122
4.5. Современные подходы к исследованию усталостной прочности элементов корпусных конструкций	134
4.6. Нормирование усталостной прочности связей корпусов судов	145
Контрольные вопросы для самопроверки	148
5. Инженерные методы расчета пластин корпусных конструкций в упругопластической стадии деформирования	149
5.1. Влияние распора на величину прогиба балок-полосок пластин при их упругопластическом деформировании	150
5.2. Деформирование локально нагруженных пластин в упругопластической стадии при произвольных граничных условиях	155
5.3. Упругопластическое деформирование пластин с произвольными граничными условиями и начальной стрелкой прогиба при восприятии эксплуатационных нагрузок	165
5.4. Влияние номинальной напряженности на коэффициент распора	176
5.5. Оценка распорной жесткости обшивки перекрытия при ее локальной загрузке	179
5.6. Эффективность участия поперечных балок в обеспечении распорной жесткости локально нагруженных пластин ...	181
5.7. Влияние погибей смежных шпаций на величину распорной жесткости конструкции при ее локальном деформировании	184
Контрольные вопросы для самопроверки	188
6. Расчет элементов бортовых перекрытий в упругопластической стадии при восприятии интенсивных локальных нагрузок	189
6.1. Влияние упругих свойств конструкции при определении ее несущей способности	189

6.2. Методика учета жесткости пластины при деформировании локально загруженного шпангоута в упруго-пластической стадии	197
6.3. Деформирование локально загруженных шпангоутов в запредельном состоянии	209
6.4. Влияние продольных сил на деформирование шпангоута в запредельном состоянии	212
Контрольные вопросы для самопроверки	219
7. Модернизация корпусов судов с целью снижения последствий навигационных аварий	220
7.1. Модернизации бульбообразной надделки с целью снижения последствий при столкновениях судов	221
7.2. Разработка днищевой конструктивной защиты жизненно важных районов корпусов судов	234
Контрольные вопросы для самопроверки	247
8. Модернизация элементов корпусных конструкций для предотвращения эксплуатационных повреждений ...	248
8.1. Разработка схемы модернизации корпусных конструкций носовой оконечности, подверженных слеминговым нагрузкам	248
8.2. Модернизация конструкций фальшбортов с целью снижения их повреждаемости	251
8.3. Модернизация крацев с целью снижения повреждаемости пластин обшивки в районах расположения штатной крацевой защиты корпусов судов	258
8.4. Некоторые мероприятия по ограничению уровня напряжения в районах конструктивных концентраторов напряжений	264
Контрольные вопросы для самопроверки	269
9. Способы повышения несущей способности стержневых систем бортовых конструкций судов	270
9.1. Повышение несущей способности бортовых перекрытий посредством установки промежуточных шпангоутов	270
9.2. Влияние перекрестной связи на несущую способность локально загруженной шпангоутной ветви	274
9.3. Уточненный расчет бортового стрингера, воспринимающего интенсивную локальную нагрузку	280
9.4. Выбор эффективной схемы подкрепления бортовых перекрытий при восприятии интенсивных локальных нагрузок.....	288
9.5. Подкрепление балок судового перекрытия за счет создания дополнительного упругопластического основания в виде гофрированных подкрепляющих элементов	295

9.6. Подкрепление судовых шпангоутов посредством создания для них упругопластического основания.....	299
9.7. Бесстрингерная система набора бортового перекрытия... ..	302
Контрольные вопросы для самопроверки.....	308
10. Способы повышения несущей способности пластинчатых элементов бортовых конструкций судов.....	310
10.1. Разработка профилактического метода подкрепления пластин обшивки.....	310
10.2. Разработка эффективного метода подкрепления деформированных пластин обшивки.....	317
10.3. Усовершенствованный способ подкрепления пластин бортовой обшивки.....	322
10.4. Повышение несущей способности пластин обшивки за счет использования резервов прочности упругого основания... ..	326
10.5. Повышение несущей способности пластин обшивки за счет установки промежуточной упругопластической опоры... ..	329
10.6. Выбор оптимального способа ремонта обшивки, пораженной язвенной коррозией.....	334
Контрольные вопросы для самопроверки.....	337
11. Нетрадиционный сценарий разрушения корпусов судов в чрезвычайных ситуациях в процессе эксплуатации.....	338
11.1. Авария танкера «Находка» в сложной динамической среде.....	338
11.2. Результаты моделирования динамики взаимодействия носовой оконечности с волной.....	341
11.3. Определение дополнительных изгибающих моментов, действующих на корпус судна в условиях «захвата волной» его носовой оконечности.....	345
11.4. Сценарии гибели нефтерудовоза MV «Derbyshire»	347
11.5. Конструктивные мероприятия, снижающие вероятность «захвата волной» носовой оконечности судна.....	355
11.6. Использование данных моделирования при построении алгоритма контроля ситуации методами современной теории катастроф.....	358
Контрольные вопросы для самопроверки.....	359
12. Контроль эксплуатационной прочности на основе бортовых интеллектуальных систем новых поколений... ..	361
12.1. Архитектура и особенности функционирования интеллектуальной системы контроля эксплуатационной прочности промысловых судов.....	361

12.2. Представление и анализ информации при разработке интеллектуальной системы контроля эксплуатационной прочности промысловых судов.....	367
12.3. Синтез ИС контроля эксплуатационной прочности на основе динамической теории катастроф.....	371
12.4. Формальная нечеткая среда моделирования задач эксплуатационной прочности судна.....	374
12.5. Принципы, реализующие построение ИС контроля эксплуатационной прочности судна.....	375
12.6. Интеллектуальные технологии обработки информации в бортовых ИС.....	379
12.7. Многопроцессорная вычислительная среда, реализующая динамическую модель катастроф.....	383
12.8. Моделирование и визуализация результатов функционирования базы знаний контроля эксплуатационной прочности.....	384
12.9. Интерпретация режимов динамики судна при оценке эксплуатационной прочности.....	385
12.10. Интеллектуальная поддержка оператора ИС контроля эксплуатационной прочности судна.....	388
12.11. Практический пример реализации динамической модели катастроф в бортовых ИС.....	391
Контрольные вопросы для самопроверки.....	394
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	395
ЛИТЕРАТУРА	398

Предисловие

Развитие теоретических принципов строительной механики корабля в задачах эксплуатационной прочности осуществляется на основе достижений современной компьютерной математики и высокопроизводительных средств обработки информации. Анализ и прогноз текущих ситуаций при оценке эксплуатационной прочности в сложных динамических средах основан на интеграции методов строительной механики корабля, динамической теории катастроф и современных интеллектуальных технологий.

Содержание учебника соответствует основным разделам программы курса «Эксплуатационная прочность судов» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры», а определенные главы учебника могут быть полезны для студентов и курсантов, обучающихся по другим специальностям укрупненной группы специальностей и направлений подготовки 26.00.00 «Техника и технологии кораблестроения и водного транспорта», а также для аспирантов кораблестроительных вузов.

Теоретические основы эксплуатационной прочности обобщены в учебном пособии авторов, опубликованном в 2012 г. Реализация динамической модели катастроф и интеллектуальных технологий в задачах контроля эксплуатационной прочности открывает возможности практического приложения разработанных методов и моделей в бортовых интеллектуальных системах (ИС) обеспечения безопасности мореплавания. Аналитическая и геометрическая интерпретация динамических ситуаций взаимодействия судна с внешней средой в условиях эксплуатации реализуется с использованием теоретических принципов организации знаний о причинно-следственных связях при контроле общей и местной прочности в различных условиях эксплуатации, особенно при воздействии динамических нагрузок, возникающих в штормовых условиях и при движении во льдах, а также во время производства швартовых операций и при столкновении судов.

Особенностью контроля эксплуатационной прочности судна является интеграция вычислительных технологий строительной механики корабля и нейродинамических систем (ND-систем), сочетающих нейронечеткое и нейроразволюционное моделирование. Реализация структурной и функциональной конфигурации ND-систем осуществляется на основе методов современной теории катастроф и принципов обработки информации в многопроцессорной вычислительной среде.

Изучение материала в нашем курсе опирается на богатый фактический материал повреждаемости корпусов судов, основанный на соче-

тании теоретических и экспериментальных методов исследования. Модели повреждаемости позволяют анализировать процесс накопления деформаций корпусов судов во времени, классифицировать дефекты и прогнозировать их параметры. В учебнике много примеров и иллюстраций, что делает материал доступным для понимания и способствует более глубокому его усвоению.

Выработка механизмов управления и поддержки принятия решений при оценке эксплуатационной прочности описывается в интегрированной программно-аппаратной среде бортовой ИС. Примеры приложения теории эксплуатационной прочности рассмотрены применительно к наиболее сложным концептуальным решениям в бортовых ИС новых поколений.

Принципиальное отличие теоретического базиса эксплуатационной прочности состоит в том, что проблема анализа и синтеза взаимодействия судна с внешней средой рассмотрена на основе современной теории катастроф. Динамическая модель катастроф открывает возможности интеграции знаний, описывающих поведение судна в условиях эксплуатации. При этом фундаментальные результаты строительной механики корабля используются совместно с данными динамических измерений, математического и физического моделирования параметров эксплуатационной прочности в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. Основная цель книги – обеспечить подготовку специалистов кораблестроительной специальности в области эксплуатационной прочности, заинтересовать студентов кругом идей и пробудить интерес к новой области знаний, в том числе и общетехнических проблем прочности.

1. Контроль эксплуатационной прочности промысловых судов: формальные модели

Эксплуатация судов промыслового флота по сравнению с эксплуатацией всех других типов судов характеризуется более тяжелыми условиями. Запасы прочности и надежности, заложенные в конструкцию при проектировании, скорость физических и химических процессов, обусловленных воздействием морской воды (силовым – от ударов волн, ледовые нагрузки, швартовка, коррозионным – от агрессивной среды), перерабатываемая продукция и другие факторы существенно влияют на технико-экономические показатели работы судов. В таких условиях контроль эксплуатационной прочности промысловых судов должен осуществляться на основе совместного использования традиционных методов обработки информации с достижениями интеллектуальных технологий.

1.1. Условия эксплуатации, причины старения корпусов судов ФРП и их влияние на объемы ремонта

Основным показателем эффективности работы флота служит годовое эксплуатационное время $T_э$ в сутках или эквивалентный ему безразмерный коэффициент технического использования $K_{т.и.} = T_э / T_0$, где T_0 – годовой бюджет времени в сутках. С увеличением возраста происходит снижение эксплуатационного времени судов всех назначений. Наиболее интенсивно идет снижение $T_э$ у добывающих судов, а наилучшие эксплуатационные показатели имеют транспортные сухогрузные суда (рис. 1.1). На темпы снижения $T_э$ влияют три основные группы факторов:

1. Запасы прочности и надежности корпуса судна, отдельных механизмов, систем и устройств.
2. Оснащенность судна технологическим оборудованием.
3. Условия и интенсивность эксплуатации судна.

По запасам прочности и надежности транспортные суда всех видов имеют мало различий, так как регламентируются едиными нормативными требованиями Регистра, а сами суда проектируются и строятся в основном в рамках одной отрасли.

Анализ второй группы показывает, что промысловые суда оснащены более сложным технологическим оборудованием, объем ремонта которого составляет порядка 20% от общего объема ремонтных работ.

Для оценки влияния третьей группы факторов выделяют два основных периода работы судна в эксплуатационное время $T_э$ – это время стоянки судна под разгрузкой в порту $T_{н.п.}$ и морское (ходовое) время $T_{м.}$.

Первый период характеризуется идентичностью условий эксплуатации судов всех назначений. Интенсивность физического износа во втором периоде в морских (ходовых) условиях будет неодинаковой для судов различного назначения. Объективным показателем интенсивности работы судов, характеризующим одновременно темпы выработки моторесурса механизмами, устройствами и оборудованием, работающими в морских условиях, а также интенсивность износа корпуса, является коэффициент морского (ходового) времени K_m , равный отношению T_m / T_z . В эксплуатационный период наиболее интенсивно работают рыбообрабатывающие суда – коэффициент морского времени у них достигает 0,95, в то время как у транспортных судов только 0,4–0,5 (рис. 1.2).

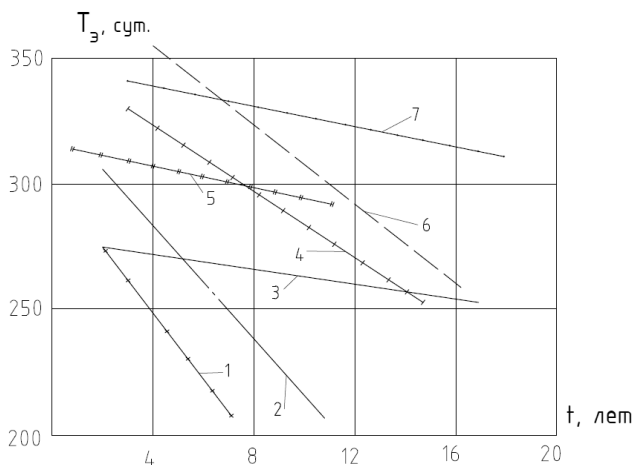


Рис. 1.1. Изменение эксплуатационного времени судов различных назначений в зависимости от возраста: 1 – СРТМ Пионерской базы «Океанрыбфлот»; 2 – РТМ типа «Тропик» и «Атлантик» Калининградской базы экспедиционного флота; 3 – транспортные суда Калининградского ПОРП (Производственное объединение рыбной промышленности); 4 – БМРТ Калининградской базы тралового флота; 5 – транспортные суда Западного речного пароходства; 6 – наливные суда Рижского морского пароходства; 7 – транспортные сухогрузные суда Рижского морского пароходства [3].

Долговечность корпусных конструкций судов ФРП зависит от более тяжелых условий их эксплуатации по сравнению с другими типами судов. Частые швартовки в открытом море приводят к появлению трещин, образованию бухтин, вмятин и гофр, которые становятся зона-

ми повышенного коррозионного износа и истирания обшивки. Коррозионный износ наблюдается также в местах выполнения производственных операций: слип, рабочая палуба, помещения обработки рыбы. Кроме этого, в этих же местах возникает необходимость ремонта бортов, фальшбортов, слипа, районов главной и других палуб. Такая интенсивная эксплуатация, а также наличие специального технологического оборудования при прочих равных условиях могут повысить объем ремонта до 1,5 раз по сравнению с объемом ремонта судов других назначений.

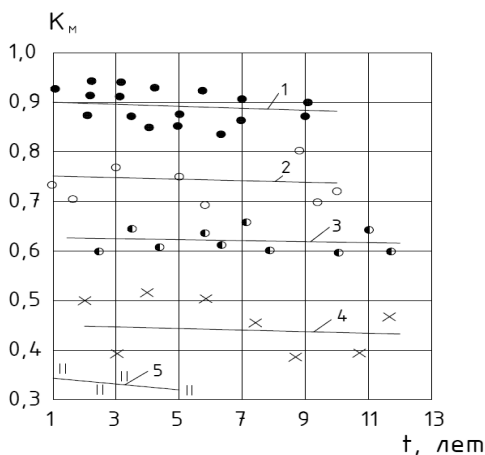


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента морского времени различных типов судов от их возраста: 1 (●) – добывающие суда; 2 (○) – транспортные суда Калининградского ПОРП; 3 (●) – наливные суда Рижского морского пароходства; 4 (×) – транспортные сухогрузные суда Рижского морского пароходства; 5 (||) – транспортные суда Западного речного пароходства [3].

При определении эффективных сроков эксплуатации, амортизационного периода и разработке системы планового ремонта для судов различных назначений, в том числе и промыслового флота, должны учитываться факторы, влияющие на темпы физического износа: наличие сложного технологического оборудования и обслуживающих его механизмов, устройств и систем; повышенный износ корпуса; интенсивность расходования моторесурса основными механизмами. Эти факторы должны быть приняты во внимание при назначении запасов прочности и надежности судовых конструкций.

Ремонт корпуса принципиально отличается от ремонта остальных судовых частей тем, что вызывает необходимость выполнения сопутст-

вующих работ. Объем последних в несколько раз превышает объем непосредственно ремонта корпуса.

К категории сопутствующих относятся технологические работы, выполнение которых, как правило, связано с демонтажом и монтажом исправных, работоспособных узлов, механизмов, агрегатов, систем, поскольку штатное расположение их препятствует выполнению ремонта неисправных, неработоспособных элементов судна в соответствии с техническими условиями на проведение ремонта. Стоимость ремонта с сопутствующими работами может значительно превысить стоимость нового судна, и поэтому решение вопроса о целесообразности эксплуатации или списания судов необходимо определять объемом ремонта и сопутствующих ему работ.

1.2. Виды эксплуатационных дефектов и основные закономерности их распределения

Все дефекты корпуса судна, возникшие в процессе эксплуатации, можно отнести к одному из четырех видов: износ, остаточные деформации, нарушение целостности конструкции, прочие дефекты.

Износ – уменьшение размеров элементов корпусных конструкций (в основном толщины). Основные причины износа – коррозия, эрозия, механическое истирание. Наибольшее распространение получил коррозионный износ.

Коррозионный износ элементов корпусных конструкций отличается большой степенью неравномерности и наблюдается уже после нескольких лет эксплуатации судна. Выделяют некоторые характерные типы коррозионных разрушений: равномерный коррозионный износ, приводящий к одинаковому утонению обшивки корпуса на большой площади поверхности, неравномерный в пределах нескольких, а иногда и одной шпации и локально неравномерный язвенный износ обшивки и связей корпуса, характерный для большинства элементов корпусных конструкций, межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание. Виды коррозионного износа приведены на рис. 1.3 [43].

Межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание, обнаруживаемое при внешнем осмотре, характерны только для некоторых нержавеющих и специальных сталей, малоуглеродистые корпусные стали, как правило, им не подвержены.

Коррозионный износ приводит к ухудшению мореходных качеств судна, возможности появления водотечности и снижению прочности корпуса.

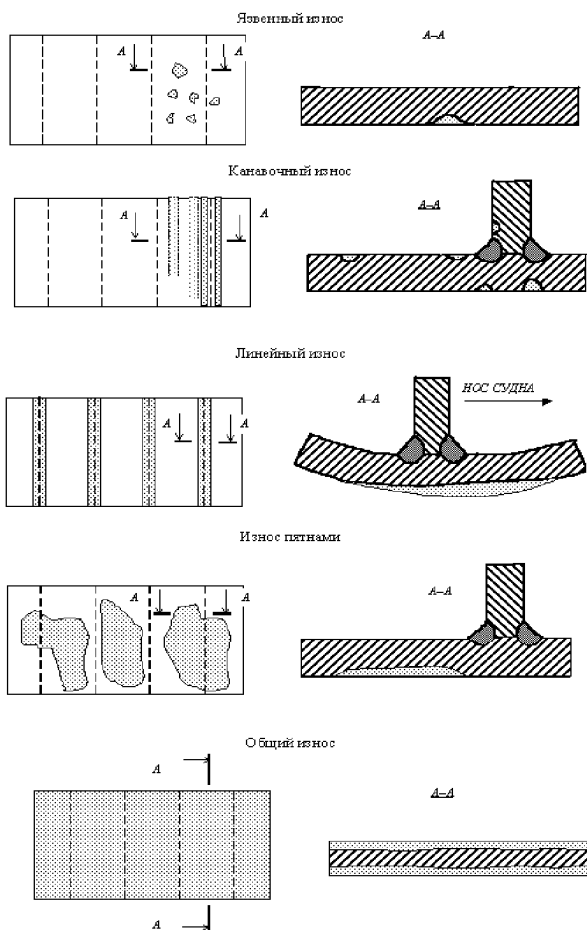


Рис. 1.3. Виды износов [43]

Из перечисленных последствий коррозионного износа лишь одно влечет за собой снижение эксплуатационных характеристик судна — ухудшение мореходных качеств. Имеется в виду уменьшение скорости хода из-за увеличения шероховатости поверхности корпуса. Изучая влияние шероховатости на буксировочное сопротивление, И. М. Гуревич показал, что оно может быть существенным, однако здесь имеет значение не столько степень износа листов, сколько характер профиля изношенной поверхности. Если из-за шероховатости наружной обшивки вследствие коррозионного износа недопустимо упала скорость судна, а остальные

последствия этого дефекта несущественны, замена такой обшивки далеко не единственный метод ремонта. Качественная грунтовка и покраска корпуса будут оптимальными методами борьбы с увеличением буксировочного сопротивления.

Ремонт судна чаще всего вызван нарушением прочности и водонепроницаемости корпуса.

Условие обеспечения водонепроницаемости, как правило, реже вызывает необходимость ремонта, чем условие обеспечения достаточной прочности судна. Возможность появления сквозных свищей в обшивке из-за коррозии определяется ее скоростью. При толщине обшивки 8–9 мм и максимальной скорости коррозии 0,4–0,5 мм/год появление водотечности произойдет не ранее чем через 16–18 лет эксплуатации. Если учесть возможность подварки отдельных язвин или заделки их полимерами до следующего очередного ремонта, то названный срок может быть значительно увеличен. Все это дает основание считать, что условие обеспечения водонепроницаемости из-за коррозии является второстепенным по отношению к условию обеспечения прочности корпуса судна. С предупреждением и устранением коррозионного износа связаны основные объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту корпусов судов.

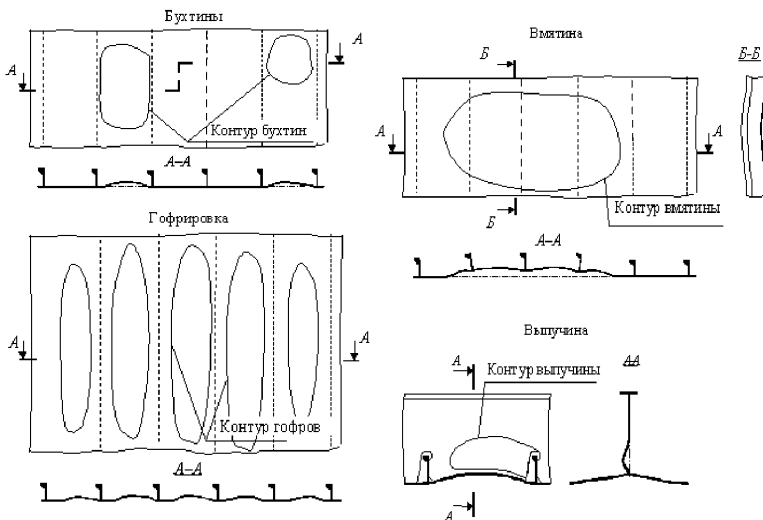


Рис. 1.4. Виды остаточных деформаций [43]

Большое место в объемах ремонта корпусов промышленных и других типов судов занимают остаточные деформации. Основная причина их

появления – большие поперечные нагрузки, возникающие от навалов при швартовке. На сухогрузных, рефрижераторных судах, лесовозах наблюдаются повреждения днища от слеминга в носовой оконечности, также нередко повреждения бортовых конструкций в районе переменной ватерлинии от действия ледовых нагрузок для судов ледового плавания. Остаточные деформации обшивки днища и настила палубы могут возникнуть также при потере устойчивости от действий усилий при общем изгибе судна, что особенно характерно для корпусов речных судов.

К остаточным деформациям относятся:

бухтины – остаточный прогиб отдельного участка листа между балками набора;

гофрировка – остаточные прогибы нескольких смежных участков листа между балками набора.

вмятины – остаточный прогиб листа или его участка совместно с балками набора (рис. 1.4);

выпучины – остаточный прогиб участка стенки балки набора или участка подкрепляющего листового элемента в районе вмятины.

Нарушение целостности конструкции – трещины, разрывы, пробоины – результат хрупкого, усталостного и вязкого разрушения материала, также дефекты в связях корпуса, обеспечивающих водонепроницаемость судна или несущих прочностные функции, как правило, не допускаются и подлежат безусловному устранению. Каких-либо ограничивающих нормативов для оценки технического состояния конструкции, имеющей подобного рода дефекты, не требуется.

Прочие дефекты – это эксплуатационные дефекты корпуса, влияющие на эксплуатационные качества или срок службы судна, к которым можно отнести обрастание корпуса, разрушение окраски, антикоррозионных защитных покрытий, протекторной защиты, отложение солей в балластных и питьевых цистернах и т. д. Такие дефекты, как правило, устраняют по мере необходимости в рамках технического обслуживания судна.

1.3. Основные закономерности распределения коррозионного износа

Для объективного суждения о прочностных последствиях коррозионного износа необходимо знать, какие элементы корпусных конструкций более всего подвержены коррозионному износу. Необходим анализ скоростей изнашивания наружной обшивки, настилов и различных связей корпуса судна. Для сухогрузных и нефтеналивных судов транспортного флота проведен анализ и определены средние и максимальные скорости изнашивания основных связей корпуса судна. Отдельно определялись скорости изнашивания для судов дедвейтом от 3,8 до 12,2 тыс. т, изготов-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru