

Н. В. Барабанов

КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ

В двух томах

2

МЕСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ
КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СУДА

Издание четвертое, переработанное
и дополненное

УД
617.581

Допущено
Комитетом по высшей школе
Министерства России
в качестве учебника для студентов,
обучающихся по специальности
„Кораблестроение“



С.-ПЕТЕРБУРГ
„СУДОСТРОЕНИЕ“
1983

Рекомендуют кафедра сопротивления материалов, конструкции корпуса и стреловидной высадки кораблей ГИИВТ (Мин. техн. наук С. И. Савченко)

Научный редактор канд. техн. наук В. Н. Кутцов

Книга является **частью** курса
Дальневосточного технического университета
в Дальнем

Барабанов Н. В.

Б24 Конструкция корпуса морских судов: Учебник. — 4-е изд., перераб. и доп. В двух томах. Том 2. Местная прочность и проектирование отдельных корпусных конструкций судна. — СПб.: Судостроение, 1993. — 336 с., ил.

ISBN 5-7355-0185-2

Рассмотрены вопросы проектирования конструкций с учетом их эксплуатационной прочности, удобства обслуживания и ремонтоспособности, а также вопросы технико-экономической оптимизации отдельных конструкций при постройке, их стандартизации и унификации.

В отличие от третьего издания материал учебника построен на основе многолетних опыта конструкторов типа судов, рекомендаций по использованию принципов оптимизации при выборе элементов корпуса, а также сведений о новых методах эксплуатации многоочередных ответственных элементов и судовладельцев по обеспечению прочности при проектировании. В книге использованы последние статистические данные о повреждениях корпусных конструкций.

Учебник предназначен для студентов кораблестроительных курсов и факультетов, может быть полезен для работников проектных организаций.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Обзор рекомендаций по проектированию отдельных корпусных конструкций	5
1.1. Металлоемкость, металлонапряженность и нагруженность корпусных конструкций	5
1.2. Критерии местной прочности	9
1.3. Проверки конструкций на изгиб, кручение и локальные концентрации напряжений	12
1.4. Статистика повреждений отдельных корпусных конструкций	21
1.5. Матрица судовой конструкции и оптимизация конструктивных решений	34
Контрольные вопросы	41
Глава 2. Конструирование балок набора	43
2.1. Характеристики поперечного сечения балок	43
2.2. Составление сварной прошивки	45
2.3. Выбор размеров балок набора для стальных переборок	47
2.4. Соединение и пересечение балок набора в углах	49
2.5. Типовые конструкции узлов соединений и пересечений балок набора переборок	49
Контрольные вопросы	59
Глава 3. Конструкции и расчет деформаций переборок	59
3.1. Конструкции деформаций и нагрузки, действующие на них	59
3.2. Конструкция деформаций в районе шпангоута	85
3.3. Выбор системы набора	92
3.4. Конструирование деформаций переборок в наклонном сечении, в средней части корпуса по длине и в поперечном сечении	98
3.5. Принципы проектирования деформаций деформаций конструкций в поперечном сечении	120
Контрольные вопросы	125
Глава 4. Конструкции и расчет палубных переборок	126
4.1. Расчетные нагрузки для палубных конструкций	126
4.2. Типовые конструкции палубных переборок и их особенности	132
4.3. Выбор системы набора палубных переборок	142
4.4. Межконтуровые закрытия грузовой палубы	153
4.5. Определенные размеры элементов палубных переборок	158
Контрольные вопросы	158
Глава 5. Конструкции в районе палубных вырезов	159
5.1. Принципы конструирования палубных вырезов	159
5.2. Анализ концентрации напряжений в районе прямоугольных вырезов в палубе	168
5.3. Концентрация напряжений в районе бортовых вырезов и палубы наклонной у круглых и прямоугольных вырезов	168
5.4. Концентрация напряжений при различных формах соединений стенок вырезов	166
5.5. Влияние осевых деформаций на конструктивные характеристики пластин с вырезами на величину концентрации напряжений	172
5.6. Влияние концентрации вырезов на концентрацию напряжений	177

5.7. Подкрепление палубных вырезов, работавших в условиях сдвига или сдвига вместе с растяжением	184
5.8. Целесообразность изготовления подкреплений соединений с целью уменьшения концентрации напряжений у углов вырезов	185
Контрольные вопросы	188
Глава 6. Ограждение открытой палубы переборками и фальсбортами	188
6.1. Работа ограждений палубы совместно с корпусом судна	188
6.2. Планировка соединений и тралов на проектировании	194
Контрольные вопросы	200
Глава 7. Конструкция и расчет бортовых переборок	200
7.1. Системы набора бортовых переборок и роль откосных балок	200
7.2. Конструирование переборок двойной бортой	202
7.3. Расчетное определение эквивалентной бортовой переборки	204
7.4. Конструкция бортовых переборок в наклонных сечениях	207
7.5. Балки соединительные и ригель конструкции бортовых переборок на судах разных конструктивных типов	211
7.6. Конструктивные методы бортов судов с алюминиевыми неэнергетическими установками	216
7.7. Конструкция баковых (осевых) ковшей	242
7.8. Методы проектирования бортов	245
Контрольные вопросы	248
Глава 8. Конструкция надстроек и рубок	249
8.1. Общие характеристики надпалубных конструкций	249
8.2. Конструкция по косякам надстроек и рубок	251
8.3. Подпалубные соединения	257
8.4. Конструкция надстроек и рубок в различных районах корпуса	262
Контрольные вопросы	269
Глава 9. Конструкция поперечных и продольных переборок	273
9.1. Размещение переборок внутри корпуса и влияние на конструкцию	273
9.2. Конструкция и расчет плановых переборок	277
9.3. Некоторые особенности конструирования переборок	284
9.4. Расположение и толщина листов переборок	291
9.5. Выбор расположения набора переборок	292
Контрольные вопросы	295
Глава 10. Конструкция носовой и кормовой оконечностей судна	294
10.1. Типичные конструкции носовой и кормовой оконечностей	294
10.2. Усилия, действующие на носовую оконечность, и особенности конструкции носовой оконечности	300
10.3. Усилия, действующие на кормовую оконечность, и особенности конструкции кормовой оконечности	305
Контрольные вопросы	311
Глава 11. Технологичность конструкции корпуса судна	311
11.1. Основные понятия. Место технологичности в алгоритме проектирования	311
11.2. Пути обеспечения технологичности конструкций	317
11.3. Показатели технологичности	319
11.4. Улучшение судостроительности	322
Контрольные вопросы	324
Список литературы	325
Предметный указатель	325

Глава I. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Металлоемкость, технологичность и нагруженность корпусных конструкций

Одним из основных резервов снижения массы судового корпуса является расширение диапазона применения надежных расчетных методов при проектировании отдельных узлов корпуса на основе прогрессивных норм прочности, позволяющих уменьшать коэффициенты запаса, т. е. увеличивать допустимые напряжения.

Снижение металлоемкости может достигаться также за счет использования высокопрочных сталей и легких материалов. Обычно считается, что наибольший эффект от применения сталей высокого сопротивления получается при изготовлении из таких сталей корпусов больших судов. Однако имеются примеры изготовления корпусов сравнительно небольших судов из высокопрочных сталей. Так, корпус полностью сварного ледокола «Персей» (см. Барабанов Н. Я. Конструкция корпусов морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961, с. 215), узлы которого значительно облегчены, а штепсели выполнены из сварных между собой листов, изготовлен из стали высокого сопротивления ($\sigma_s = 500$ МПа). Этот ледокол хорошо себя зарекомендовал при форсировании тяжелых льдов. Судно было построено во время войны в Германии и как трофейное попало в Советский Союз, где в течение многих лет успешно работало во льдах, не получив повреждений. Кроме того, как показали осмотры этого уже отслужившего, но выходящегося на плаву судна, материал корпуса почти не подвергнется коррозии.

Иногда из-за незнания истинных значений действующих внешних нагрузок массу некоторых конструкций необоснованно увеличивают или, наоборот, уменьшают. Последнее вызывает необходимость частых ремонтов и ведет к необоснованному повышению расхода металла, так как при замене конструкций его утилизируют, а следовательно, увеличивают ее массу. Частые замены одних и тех же конструкций после повреждения во льдах — характерный пример значительного увеличения их массы. Таким образом, нередко увеличение толщин конструкций при проектировании способствует уменьшению расхода металла при ремонте.

При проектировании узлов соединений и переборок балок набора корпуса пристальное внимание должно уделять обеспечению технологичности изготовления и ремонтопригодности, т. е. возможности использования при постройке и ремонте самой передовой технологии.

С 1 октября 1987 г. действует руководящий документ по конструированию корпуса, содержащий методику расчетной оценки металлоемкости конструкций корпусов морских судов, т. е. массы металлического корпуса. Эта методика, являющаяся основой для определения конструктивной металлоемкости корпусов проектируемых судов,

базируется на результатах анализа статистических данных по характеристикам массы судов и учете факторов, оказывающих влияние на уровень металлоемкости корпуса. К таким факторам относятся назначение, конструктивный тип и связанные с ним конструктивные особенности судна, главные размерения, ледовые усиления, полнота корпуса и др. Проведенные по методике расчеты включаются в техническую документацию проекта (в раздел «Корпус»).

Последние годы большим группам известных кораблестроителей занималась решением комплексной проблемы снижения металлоемкости конструкций судов и плавучих сооружений. В результате были разработаны и внедрены прогрессивные методы расчета и нормирования прочности корпусных конструкций, предложены принципы рационального конструирования узлов корпуса и расширена область использования стальной повышенной прочности. Работа была удостоена премии Совета Министров СССР за 1991 г., и награды вручены О. М. Палеев, О. Е. Литовому, А. И. Макашадзе, В. Н. Кустову, И. Г. Варенкову, Н. К. Иванискому, М. Г. Ковалю, М. Н. Эпштейну. Активное участие в работе принимали Г. Б. Бойлов и В. А. Никитин.

Конструктивная металлоемкость корпуса судна представляет собой сопоставительную характеристику, и ее оценка производится относительно судна-аналога (прототипа). Судно-аналог должно иметь то же, что и проектируемое судно, назначение, близкие главные размерения и аналогичную механическую установку. Однако эти условия полностью выполняются редко, и различия проектируемого судна и прототипа учитываются с помощью коэффициентов, приводимых в руководящем документе. Если прототип подобрать не удастся, то оценку металлоемкости производят путем сравнения со средним уровнем металлоемкости судов, близких к проектируемому судну.

После анализа металлоемкости всего корпуса проектируемого судна, приступая к разработке отдельных узлов и секций корпуса, необходимо минимизировать их массу, используя самые современные расчетные методы и результаты экспериментальных исследований, проводимых на моделях и в натуре, в также самые последние научные разработки, направленные на повышение сопротивляемости конструкций хрупкому и усталостному разрушению, особенно на повышение сопротивляемости при низких температурах, имеющие для судов отечественного флота особое значение. При этом следует достоверно оценивать коррозионную стойкость и износ конструкции в фактических природных условиях, в которых проектируемое судно будет эксплуатироваться.

Создавая корпусные конструкции, надо придавать им такие формы, которые обеспечивали бы минимальный износ и позволяли бы повысить надежность конструкции и сварных соединений в условиях действия высоких местных напряжений.

Во всем корпусным конструкциям предъявляются требования достаточной их прочности при общей продолжительной и при действии различных местных нагрузок. Отдельные конструкции и процессы работы должны выдерживать действие эксплуатационных нагрузок без разрушения и остаточных деформаций.

При проектировании конструкций нового судна или при разработке документации для ремонта построенных судов конструктор должен совершенно отчетливо представлять, какие нагрузки действуют на судно и на отдельные конструкции в процессе постройки, пуска со стапеля, эксплуатации, при постановке в док, при ремонте в условиях замены обшивки или при выполнении технологических вырезов. Из всего многообразия действующих нагрузок конструктор должен отобрать главные, самые опасные, и упростить расчетную схему, не снижая степени надежности расчетов. В целом задачей конструктора является создание отдельных конструкций, находящихся под действием определенных нагрузок, которые по характеру изменения во времени делятся на незначительно, статически переменные и динамически переменные, или ударные.

Незначительные нагрузки — это вес корпуса, механизмов, снабжения и других грузов, составляющие в сумме водоизмещение судна, а также силы давления воды при плавании на тихой воде, не меняющие своего суммарного значения, характера распределения и направления в течение длительного промежутка времени.

Статически переменные называются нагрузками, период изменения которых в несколько раз превышает период собственных колебаний конструкций: нагрузки от давления воды на волнении, усилия при спуске и при постановке в док, инерционные усилия, возникающие при качке.

Динамически переменные нагрузки — это усилия, период изменения которых близок к периоду собственных колебаний судна или меньше его. К таким нагрузкам относятся удары волн, удары в развал борта и днища, удары при заваривании на сильном волнении и при навалих на причал, удары об отдельные сидящие на мели или плавающие льдины, а также периодически действующие усилия, вызывающие вибрацию. Особую опасность представляют усилия, действующие с частотой, равной частоте собственных упругих колебаний корпуса или отдельных его конструкций, вызывающих явление резонанса, когда амплитуда упругих колебаний отдельных конструкций быстро увеличивается и в результате малоциклового усталости возможно возникновение трещин и остаточных деформаций.

Таким образом, при расчетах прочности отдельных конструкций и при выборе надежных узлов и элементов необходимо установить значения действующих на конструкции нагрузок, выбрать надежные методы расчета и назначить запасы прочности в зависимости от той роли, которую эти конструкции играют в составе корпуса судна.

Назначение запасов прочности рассчитываемой конструкции зависит от того состояния, которое допускается при ее работе. Поэтому при расчетах конструкций на действие случайных нагрузок назначаются запасы прочности меньшие, чем при расчетах на действие постоянных нагрузок. Так, при расчетах волнопроникающих переборок, на которые могут действовать случайные нагрузки при аварийном затоплении отсека, сознательно допускаются остаточные деформации, т. е. напряжения, достигающие $\sigma_{0.2}$, однако величина этих деформаций

не должна приводить к водоотечности. За счет применения меньших затрат прочность массы отдельных конструкций может быть уменьшена.

Основная часть конструкций судового корпуса при плавании в возможно жестких условиях, предусмотренных заданием на проектирование, должна обладать достаточной местной прочностью, т. е. не должна получать повреждений в виде трещин и остаточных деформаций. Однако иногда в тяжелых условиях плавания судоводители допускают какое-то превышение расчетных нагрузок и в конструкциях возникает остаточные деформации. При превышении этими деформациями определенных пределов, установленных Правилами Регистра СССР, конструкции должны заменяться или подкрепляться. Следует иметь в виду, что даже при наличии больших остаточных деформаций во многих случаях конструкции в состоянии успешно продолжать работу, хотя эти деформации могут стать причиной недопустимых явлений. Например, последующие деформирование этих конструкций может привести к появлению в них трещин и, следовательно, к водоотечности. Кроме того, при движении судна в воде и во льдах деформированные конструкции создают дополнительное сопротивление.

Для сварных корпусных конструкций большое значение для обеспечения достаточной прочности имеет качество их изготовления. На прочность и работоспособность конструкций оказывают влияние деформации и напряжения от сварки, структурные изменения металла при резке, гибке, сварке и правке деталей, образующих конструкцию.

Серьезным врагом надежности конструкций является коррозия. Наиболее опасный ее вид — коррозионное растрескивание, при котором совершенно неожиданно происходит самопроизвольное разрушение конструкций, способное вызывать катастрофические последствия. В последнее время для борьбы с этими негативными явлениями Институтом электросварки им. Патона разработан способ обработки сварных соединений металлоконструкций азотом, основанный на том, что ударные волны мгновенно снимают внутренние напряжения, после чего районы сварных швов приобретает свойства основного металла. Практическое использование технологии обработки азотом азотом должно найти широкое применение в судостроении при изготовлении корпусных конструкций. С помощью этой технологии можно значительно повысить сопротивляемость хрупкому разрушению конструкций педерколов и судов ледового плавания, работающих при низких температурах.

При проектировании отдельных узлов корпуса судна стремятся выбрать наиболее подходящие для известных условий нагружения материалы, обеспечивающие высокую работоспособность, статическую и усталостную прочность. Меняя конструкции узла, можно добиться большого положительного эффекта, однако сам процесс рационального проектирования всех конструктивных элементов встречает большие трудности и продолжение этого процесса невозможно без изучения поведения отдельных конструкций в самых тяжелых условиях эксплуатации, в частности при низких температурах.

1.2. Критерии местной прочности

Оценка местной прочности отдельных корпусных конструкций производится по определенным расчетным схемам, которые включают выбор расчетных внешних нагрузок и определение напряжений, действующих в конструкциях. Эти схемы не всегда правильно учитывают основные факторы, определяющие условия работы конструкций, особенно для судов новых типов.

В последние годы при нормировании местной прочности целого ряда конструкций судового корпуса используют метод предельных нагрузок, состоящий в том, что назначают коэффициенты запаса для нагрузок, при возникновении которых исчерпывается несущая способность деталей. Основное состояние можно связать с возникновением в конструкциях напряжений, равных пределу текучести.

Если конструкции спроектированы по правилам Классификационных областей, то расчет местной прочности производят по напряжениям, возникающим при расчетных нагрузках. Кроме того, проводят проверку ребер жесткости на устойчивость плоской формы изгиба и определяют минимально допустимые их толшины, а также анализируют формирование отдельных соединений, вырезов и закруглений конструкций, оценивают возможность выполнения надельных сварных соединений.

Хрупкое разрушение конструкций под действием местных поперечных нагрузок может происходить только в исключительных случаях: при пренебрежении основными обязательными требованиями к материалу и формам конструкций, при распространении трещин, возникших в результате усталости, при исключительно низких температурах окружающего воздуха. Поэтому расчетные методы определения местной прочности конструкций основываются на двух критериях: усталостной прочности и предельной несущей способности. Кроме того, используют деформационный критерий, характеризующий появлением в отдельных конструкциях больших остаточных прогибов.

По мере накопления опыта эксплуатации судов, работающих во льдах и получающих большие местные деформации, имелся переход от нормирования напряжений к нормированию деформаций корпусных конструкций. Вопрос о дальнейшей эксплуатации судна после получения его конструкциями остаточных деформаций той или иной величины решается на основе расчетов.

Некоторые корпусные конструкции кроме местной прочности могут еще обеспечивать восприятие нагрузок от общего продольного изгиба и кручения. Однако многие конструкции корпуса воспринимают только местные нагрузки.

Местные нагрузки, как и общие, изменяются с течением времени, что и создает условия для появления усталостных повреждений. Эти повреждения в виде местных трещин возникают в районе конструктивных и технологических концентраторов напряжений как результат действия напряжений высокого уровня, близких к пределу текучести материала. В конструкциях из современных корпусных сталей такие

трещины распространяются в ограниченных пределах — только в зоне высокой концентрации напряжений. Возникновение и развитие трещин в конструкциях снижает их надежность, создает опасность аварий и ведет к большим расходам на ремонт.

На современных океанских транспортных судах по сравнению с первыми целиком сварными судами удалось добиться значительного уменьшения количества случаев появления и распространения трещин (см.: Барбаков Н. В. Конструкции корпусов морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961, гл. V). Это было достигнуто прежде всего за счет улучшения формы конструкций, уменьшения концентрации напряжений, улучшения технологии изготовления сварных узлов за счет ликвидации объемного напряженного состояния и ликвидации дефектных мест конструкций.

Любая корпусная конструкция имеет некоторые дефекты металлургического (поры, ликвации, расслоения) и технологического (непрояры, подрезы, кратеры, пережоги) характера. В районе этих дефектов возможно возникновение трещин усталости, которые могут распространяться далее. Поэтому в расчетах местной прочности судовых конструкций это обстоятельство необходимо учитывать и, проектируя конструкцию, создавать условия, предотвращающие опасное распространение трещин за счет улучшения качества материала и технологических приемов при постройке и ремонте. Следует добиваться, чтобы сам материал конструкций препятствовал возникновению хрупких разрушений, а появившиеся в нем трещины не прокатились тенденция к распространению.

Появление трещин в любой конструкции снижает ее прочность и ресурс, однако не всякая трещина является опасной и требует устранения. Действительно, опыт эксплуатации судов позволяет сделать вывод, что конструкции с трещинами могут многие годы работать в морских условиях. Так, 10-летние наблюдения за трещиной в углу выреза машинной шахты на судне „Новороссийск“ (типа „Либурги“) показали, что данная трещина, находясь под средней рубкой, не проявляет тенденций к распространению.

Циклическая работоспособность отдельных конструкций уменьшается при высокой концентрации напряжений, поэтому особое внимание необходимо обратить на всемерное снижение концентрации. Хрупкие разрушения при низких температурах всегда в качестве источников имеют узлы с высокой концентрацией напряжений*. Многократные пластические деформации в местах высокой концентрации напряжений при знакопеременных нагрузках также создают условия для возникновения как усталостных, так и хрупких трещин.

До сих пор для оценки работы сложных узлов судовых конструкций под действием знакопеременных нагрузок проводят непосредственные испытания таких узлов на усталость. Эти узлы изготовляют

подобными натурным по той же технологии, которая используется при постройке судов, а прикладываемые к узлу значения нагрузки приводят в соответствие фактическим нагрузкам, действующим в условиях эксплуатации.

В результате испытания узлов устанавливают эффективные коэффициенты концентрации σ_e . Если теоретический коэффициент концентрации σ_t связывать между собой максимальные напряжения σ_{max} , действующие около концентратора, с номинальными (средними по сечению) напряжениями σ_n соотношением $\sigma_e = \sigma_{max}/\sigma_n$, то эффективный коэффициент концентрации σ_e может быть представлен равенством $\sigma_e = \sigma(N)/\sigma(N)$, где $\sigma(N)$ — предел ограниченной выносливости материала на базе N циклов нагружения; $\sigma_e(N)$ — то же для испытываемого узла с концентратором. Как $\sigma(N)$, так и $\sigma_e(N)$ определяют по моменту возникновения в узле видимых трещин.

Усталостная прочность обычно достигается конструктивными мерами, снижающими концентрацию напряжений. Убедиться в том, что концентрация не создает опасных условий, необходимо путем расчетов или экспериментально, сравнивая усталостную долговечность конструкций при разных вариантах оформления узлов.

Геометрия (форма) конструктивных узлов должна быть такой, чтобы при действии местных нагрузок обеспечивалась их статическая прочность. При выполнении этого условия критерий предельной прочности становится основным, определяющим выбор деталей конструкций, а критерий усталостной прочности используется как дополнительный для проверки прочности при знакопеременных нагрузках.

При расчетах местной прочности большей части конструкций за опасные напряжения принимают напряжения, равные пределу текучести материала. Возникновение в конструкции опасных напряжений свидетельствует о наступлении опасного состояния, которое сопровождается нарушением целостности или большими остаточными деформациями.

При использовании деформационного критерия следует учитывать, что деформации могут распространяться и на большие площади конструкций, и на совсем малые. Так, на теплоходе „Орехбург“ и „Орехи“ от ударов носовой оконечности о воду возникли общие деформации всего лонжеронного перекрытия в носовом трюме со стрелой прогиба до 150 мм [106, 107], а на судах ледового плавания — многочисленные локальные повреждения в виде гофров между набором или между обшивки вместе с набором, терпящим устойчивость плоской формы изгиба. Местные небольшие деформации при повторных нагрузках постоянно увеличиваются, что приводит к значительному перераспределению действующих напряжений по треману с расчетным, и в результате перегрузки отдельных конструкций может произойти их разрушение.

Таким образом, нарушение формы в результате остаточных деформаций обшивки балок набора и целых перекрытий корпуса судна допускается до определенных пределов, устанавливаемых Правилами Регистра СССР, Методикой дефектации и Нормами дефектации.

*Борисов Г. В., Замкатын Ю. А., Милитин В. А. Температурные поля в корпусе судна арктического плавания. // Судостроение. 1985. № 1.

Последние два документа составлены с учетом работы конструкций при пластических деформациях.

Местная прочность должна быть такой, чтобы конструкции имели запас несущей способности, обеспечивающий их устойчивость при действии нагрузок, близких к нагрузкам, вызывающим опасные остаточные деформации. Расчет местной прочности для большинства сложных конструкций (например, двинуемых перекрытий, рамного набора) может основываться на простых схемах предельного равновесия.

Очень важно при рассмотрении вопросов местной прочности правильно оценить влияние повторных нагружений на развитие пластических деформаций в листах наружной обшивки. Установлено, что потеря последними плоской формы при пластических деформациях не приводит к снижению несущей способности конструкции, но отражается на эксплуатационных характеристиках судна. При однократных деформациях обшивки к набора под действием местных нагрузок появляются трещины в углах пересечения балок, в местах концентрации напряжений, в углах мелких вырезов и, наконец, в местах больших пластических деформаций. Трещины часто возникают и без заметных пластических деформаций, тем более имеется высокая концентрация напряжений. Поэтому всеми способами необходимо избегать всякого рода концентраторов, особенно в двойном дне. Однако иногда это сделать невозможно, и тогда при создании конструкций необходимо ориентироваться на уровень деформаций, при котором конструкции могут продолжать работать. Кроме того, можно увеличивать податливость срединной за счет введения различных подвижных соединений, хорошо себя зарекомендовавших в некоторых конструкциях.

Технология изготовления сварных конструкций оказывает большое влияние на их работоспособность во время эксплуатации, особенно в экстремальных условиях. Газовая резка и сварка, сопровождающиеся выделением большого количества теплоты, вызывают в конструкции деформации, объемные и плоскостные напряженные состояние и внутренние местные напряжения. Объемные напряженные состояние ведет к разрушению металла, а разогрев изменяет его структуру и физико-химические свойства.

Строгое соблюдение технологии при изготовлении конструкций, хорошо организованный контроль за их изготовлением способствуют повышению надежности и работоспособности конструкций.

1.3. Повреждения конструкций новых судов и потенциальные возможности проектирования в них трещин

Многие повреждения корпусных конструкций происходят по причинам технологического характера. Однако немало повреждений случается из-за ошибок конструкторов и незнания ими фактически действующих внешних нагрузок, а также из-за превышения расчетных нагрузок по причине невозможности контролировать действующие на корпус внешние нагрузки в тяжелых условиях эксплуатации.

Количество повреждений на судах по-прежнему не снижается, что объясняется появлением многочисленных судов новых конструктивных типов с новыми конструкциями, которые еще не проверены практикой и в достаточной степени не изучены наукой. Оптимальность предлагаемых новых решений устанавливается не сразу, а только после эксплуатации конструкций в наиболее тяжелых условиях плавания в течение некоторого времени.

С целью рационального и оптимального проектирования отдельных конструкций корпуса судна самое пристальное внимание необходимо уделять выявлению недостатков в конструкциях, которые использовались на судах, построенных раньше. В результате изучения поведения конструкций при эксплуатации и сопоставления результатов с научными разработками разрабатываются более совершенные расчетные приемы и критерии проектирования новых необычных конструкций.

Обеспечение безаварийной эксплуатации судов может быть достигнуто прежде всего путем детального изучения поведения отдельных конструкций головного судна серии в наиболее тяжелых условиях плавания. Этот вопрос давно был поставлен акад. Ю. А. Ишимовским, но до сих пор, к сожалению, не нашел своего решения. В эксплуатации без всяких испытаний почти одновременно вводятся несколько судов одной серии. В результате все построенные суда серии приходится модернизировать, как это случилось с судами серии СА-15 (см. п. 7.17 и 7.18). При дальнейшей постройке судов данной серии их корпуса были несколько подкреплены (серия СА-15супер), однако без достаточно подробного изучения причин очень больших повреждений теплоходов этой серии "Кола" и "Мончегорск". Прочность конструкций корпусов судов серии СА-15 и СА-15супер не была согласована с мощностью главных механизмов, что при отсутствии контроля внешних нагрузок во время движения во льдах могло приводить к повреждениям из-за превышения этими нагрузками расчетов.

Для того чтобы наиболее точно установить возможности отдельных конструкций, все большее внимание уделяется изучению их повреждений, для чего успешно используют статистические методы обработки на 3ВМ данных о повреждениях.

Сбором данных о повреждениях занимается большинство классификационных обществ. Общества разных стран систематизируют и анализируют эти данные, периодически публикуют анализы полученных результатов, корректируют нормативные документы, вносят в них новые требования к форме и размерам связей, образующих отдельные узлы. Первая систематизация повреждений конструкций целого корпуса сварных судов была выполнена в начале 40-х гг. американской морской комиссией по судам типа "Либерти". Качественные исследования повреждений конструкций во время их эксплуатации хорошо

*Коронов С. Б. Анализ повреждений корпусов транспортных судов арктического плавания // Параллельные типы судов / Сб. Тр. / ИВБМФ. 1985.

известны судостроителям (см. Бардаман Н. В. Конструкции корпуса морских судов. Л.: Судпромазг, 1961, гл. V). Более 40 лет кафедра конструкции судов ДВШ занимается сбором и анализом данных о повреждениях, осмотром поврежденных судов, наблюдением за работой конструкций после ликвидации повреждений и модернизации [1, 106, 107].

Для проектирования конструкций новых судов представляется большой интерес данные о повреждениях, полученные в Японии по 5341 судну [158]. Как свидетельствуют эти данные, наибольшее количество повреждений составляют трещины, гофры (деформации только обшивки) и дырты (деформации обшивки вместе с набором), вызываемые изломами и коррозией, а также септингами, допущенными при проектировании. Последние проявляются в самые жаркие годы эксплуатации сразу после вхождения судна в экстремальные условия (плавание во время сильных штормов или в тяжелых ледовых условиях).

Изменение традиционных форм конструкций, новшества в конструктивном оформлении сечений балок набора и присоединений их друг к другу несут целый ряд дополнительных опасностей. Например, при обычных сейчас высоких кормовых рубках, которые сильно выгибают при продольной качке, отрываются приваренные к ним надпалубные продольные связи (рис. 1) и декоративная обшивка рубок, идущая вдоль фальшбортов [1, рис. 228]. Самые незначительные местные изменения форм конструкций на новых судах требуют специального рассмотрения.

Образы связей и выполнение всякого рода небольших вырезов в наборе для прохода сварных швов, устройства голубин и вырезов для перелока воздуха могут быть очагом возникновения трещин. Особую опасность представляет сосредоточение в узлах нескольких связей, вызывающих суммарную концентрацию напряжений большой величины. Группирование прерывистых связей остается одной из причин появления трещин на многих судах малой постройки. По этой причине происходили повреждения и клепаных судов, конструкции которых в отличие от конструкций сварных облапали способность снижения высокой концентрации напряжений за счет подкосных клепаных соединений.

В качестве примера приведем конструктивные аварии на отечественных трехпалубных лайнерах „Маджестик“ и „Пенсияф“ (рис. 2, а), которые получили катастрофические трещины в верхней палубе и в борту. Во время сильного шторма в декабре 1924 г. в районе мыса в широте левого борта парохода „Маджестик“ была замечена появившаяся из-под деревянного настила палубы трещина, идущая от борта до борта и распространявшаяся на некоторое расстояние по левому борту (рис. 2, б). Она располагалась прямо под подкосным (ширикательным) соединением настройки-рубки. Подпалубные соединения шли и по стенкам рубки и заканчивались у верхней палубы судна, образуя с каждой борти по прерывистой связи, вызывавшей концентрацию напряжений в палубе. (Такие же подкосные соединения без

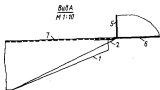
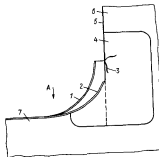


Рис. 1. Образы клепки продольного коммента от лобовой стенки рубки и модернизация угла присоединения

1 — первоначальная форма коммента 2 — новая форма коммента 3 — трещина; 4 — старый лоп на стене показанной конструкции 5 — лобовая стенка рубки 6 — продольная стенка кормовой рубки 7 — элемент

на поврежденных. Однако анализ эксплуатации подтверждает, что дефектные конструкции в деформированном состоянии обладают способностью воспринимать максимальные нагрузки без образования трещин. Такой вывод позволил теплоходу „Орелбург“ несколько лет плавать без модернизации, имея обшивку деформированного перекрытия, достигавшего 120 мм.

На основании исследований и замеров фактических нагрузок в море в Правила Регистра СССР введены новые более жесткие требования по подкреплению динамичных конструкций в носовой оконечности, которые позволили уменьшить объем повреждений от спешинга на новых судах.

Важно заметить, что после любых подкреплений судов, полученных повреждениями, капитаны, как правило, держат более высокие, чем ранее, скорости. Это ведет к увеличению внешних нагрузок по сравнению с теми нагрузками, при которых раньше были получены повреждения. Большие внешние нагрузки вызывают повторные повреждения тех же конструкций, поскольку они были рассчитаны на нагрузки меньшей величины. Так случилось с океанским рефрижератором „Камчатские горы“, днище которого после первых повреждений в носовой части трима было усилено на расчета действия нагрузок, вызванных остаточной деформацией. Какое-то время судно не имело повреждений и капитан во время шторма стал позволять двигаться на крутом волнении со скоростью, большей, чем та скорость, при которой раньше были получены повреждения. В результате возникли остаточные деформации в кормовой части того же перекрытия.

Для установления допустимой скорости движения в штормовых условиях целесообразно иметь на борту судна приборы, контролируемые внешние нагрузки, не позволяя последним достигать таких величин, при которых они могут вызывать в конструкции напряжения, превышающие расчетные. Следует заметить, что во всех случаях контролю должны подвергаться только динамические нагрузки, действующие в совершенно определенных местах, потому число датчиков, контролируемых динамических нагрузок, должно быть небольшим — 5–6 на судно. В частности, динамические ледовые нагрузки можно контролировать несколькими датчиками, устанавливаемыми только в местах действия максимальных ударных нагрузок.

Все ударные нагрузки вызывают сильное сотрясение и последующую вибрацию. Вибрация, появившаяся в результате сошения кита, ударов волн и заливания, через некоторое время затухает, а вибрация от работающего механизма vibrations не прекращается во все время их работы. Такая же незадающаяся вибрация возникает при форсировании тягловых сплочного льда мощными автономными гидрокатами при регулярном их движении.

Высокая концентрация напряжений в некоторых случаях вызывает местные усталостные трещины даже при небольшом количестве циклов нагружения [1, стр. 228]. Также явление наблюдалось во время жестокого шторма в океане на теплоходе „Пестово“ (табл. „Варшавский“), когда произошел отрыв киля, крепителя продольных комингсов

к лобовой стенке рубки (см. рис. 1), вызванный продольной вибрацией последней [1, § 85]. Вибрация рубки можно было уменьшить, только передавая всю кормовую оконечность судна. Присоединять комингс к рубке при постройке не следовало, а нужно было закончить их в рубке, постепенно свести на нет за лобовой стенкой. Вообще комингсы необходимо сводить на нет до стенки рубки, но на теплоходе „Пестово“ сделать это было невозможно из-за небольшого расстояния от поперечной кромки киля до рубки.

После воздействия ударных нагрузок волновая вибрация корпуса затухает, однако сразу после удара она вызывает дополнительные изгибающие моменты в поперечных сечениях корпуса. Наибольший изгибающий момент возникает в районе модельного сечения, но и в поперечных сечениях носовой оконечности дополнительные ударные изгибающие моменты, суммируясь с моментами от общего нагиба, могут быть значительными. Практика мореплавания знает случаи потери устойчивости верхней палубы и повреждений верхней части бортов, а также случаи полного перелома корпусов в районе носовой оконечности на расстоянии $(1/3 + 1/4) L$ от форштевня. Даже если суммировать изгибающие моменты в поперечных сечениях носовой оконечности меньше, чем на модели, то все равно момент инерции сечений в носовой оконечности заметно меньше и напряжения могут иметь большее значение, чем напряжения в средней части. При волнении в конструкциях высокой концентрации напряжений, вызванной силами, резко меняющимися свои поперечные сечения, в конструкциях могут появляться первоначальные трещины, которые при повторных ударных нагрузках будут распространяться и вызывать серьезные повреждения.

В последние годы в литературе было описано много случаев серьезных аварий, сопровождавшихся полным или частичным отрывом носовых оконечностей.

Так, в течение восьми дней, с 27 декабря 1980 г. по 3 января 1981 г., около Японии произошло шесть аварий с пятью надпалубными и одним субмаринным

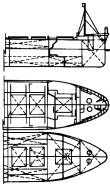


Рис. 3. Потеря носовой оконечности надпалубным „Окэмаки мару“ (1980 г.)
Место отрыва показано толстой линией

судном. Одна из катастроф случилась с навалочником „Ономичи мару“, построенным в Японии в 1965 г. „Ономичи мару“, груженный углем, шел на волнении под углом 20° к волне с минимальной скоростью 5 уз, позволявшей судну держаться против волны, испытывая минимальные удары в носовую оконечность. Неожиданно волна высотой около 10 м нанесла сильный удар в развал борта и в длину. В момент удара бак скрылся под водой, а когда он вновь появился над водой, то носовая оконечность оказалась сильно загнута вниз. Просиб постоянно увеличивался, и через два часа нос отделился от остального корпуса (рис. 3) и затонул.

23–27 ноября 1983 г. произошла конструктивная авария с рефрижератором „Профессор Попов“, построенным в Польше в 1977 г., из-за недостаточной прочности конструкций носовой оконечности, воспринимав-

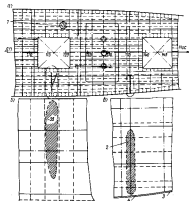


Рис. 4. Потеря устойчивости верхней палубы и separation от бортового элемента на рефрижераторе „Профессор Попов“. а – удары палубы в районе люка № 1 и 2; б – правый борт в районе повреждения; в – верхняя палуба в районе повреждения

1 – деформация (выпучивание); 2 – прогиб; 3 – борт; 4 – трещина

ших ударные нагрузки. Судно, шедшее на волнении с высотой волн до 9 м, имело скорость 9–11 уз, испытывало стремительную килевую качку и сильные удары в развал бортов, сопровождавшиеся заливаемостью бака и носовой части верхней палубы у люков № 1 и 2. При осмотре конструкций под палубой бака с обоих бортов были обнаружены потерявшие устойчивость бимсовы килы (район 164–172-го шп.). На палубе с правого борта за люком № 1, а также по середине люка № 2 листы палубы и листы шпангоута вместе с подкрепляющими его продольными ребрами потеряли устойчивость (рис. 4). С левого борта также потеряли устойчивость листы палубного настила и продольные ребра аблиз продольного контингента люка № 2. В районе 135–136-го шп. возникли трещины в силовом шве, пересекающая ребро, и перекрещивающаяся с первой второй трещина, проходящая вдоль сварного шва, соединяющего шпангоут и палубный стрингер.

Описанные конструктивные аварии свидетельствуют о том, что в носовой оконечности корпуса имеются районы с конструкциями, прочность которых меньше прочности соседних конструкций. Такими конструкциями являются палубные перекрытия и верхняя часть бортов в районах, расположенных на $(1/3 + 1/4)L$ от форштевня, которые подвергаются серьезным сдвигам при ударах. При проектировании судов необходимо уделять самое пристальное внимание обеспечению прочности этих конструкций, а при расчетах общей прочности для сечения в носовой оконечности – учитывать дополнительные изгибающие моменты от ударных нагрузок, особенно при проектировании судов, сохраняющих высокие скорости при движении на волнении.

1.4. Статистика повреждений отдельных корпусных конструкций

Статистические данные по повреждениям корпусов на 5341 судне [158] свидетельствуют о том, что наибольшее число повреждений происходит из-за коррозионного износа. Второе место занимает повреждение вследствие ошибок при проектировании, третье – в связи с ошибками при изготовлении и четвертое – из-за вибрации. Число повреждений достигает максимума через 9–15 лет эксплуатации (рис. 5).

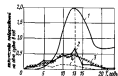


Рис. 5. Полное число повреждений по разным причинам (штатистика за 1975–1980 гг.)

1 – коррозия; 2 – ошибки в проектировании; 3 – технологические ошибки; 4 – вибрация; Т – количество лет эксплуатации

В самые первые годы эксплуатации проявляются недостатки, вызванные дефектами в материалах, ошибками в проектировании, нарушением технологии изготовления. Эти недостатки являются причиной высокой местной концентрации напряжений, которая при знакопеременных нагрузках и в условиях вибрации, даже при небольшом количестве изменений нагрузки, вызывает трещины (малоцикловая усталость) или остаточные деформации, снижающие работоспособность конструкций.

Целый ряд дефектных конструкций, имеющих высокую концентрацию напряжений, постепенно накапливает усталостные повреждения, которые в разное время проявляют себя в виде усталостных трещин. Эти трещины на судах, плавающих при низких температурах, могут распространяться достаточно быстро, становясь хрупкими. Так, два судна — «Илья Членков» и «Боря Шариков» типа «Висмер», — построенные в ГДР, получили серьезные хрупкие повреждения в углах грузовой люков во время зимнего плавания при температуре около -40 °С у берегов Чукотки в условиях жестких штормов. В некоторых районах Арктики, где температура приближается к -50 °С, иногда прекращают грузовые операции на судах из-за боязни получить хрупкое разрушение конструкций.

Как складываются статистические данные, повреждения отдельных корпусных конструкций зависят от многих причин и значительно различаются для судов разных типов. За последние годы накоплена новая важная информация по повреждениям отдельных конструкций, обработанная на ЭВМ фирмы «Нитсон Кайлсидо Кьюкай» [158, 176].

Данные по повреждениям отдельных конструкций для судов трех разных типов, численность которых составляет 40 % всего мирового торгового флота, представлены в табл. 1-3. Разные условия эксплуатации и конструктивные особенности судов рассматриваемых типов приводят к тому, что объемы повреждений одинаковых конструкций и наиболее повреждаемые конструкции на них разные. Это заставляет подходить к проектированию конструкций судов различных типов индивидуально.

Одни и те же конструкции на судах различных конструктивных типов могут выполнять разную роль. Так, фальшборты с проемом по всей длине у сухогрузных судов являются просто ограждением верхней палубы, тогда как у малых промысловых судов они уменьшают заливаемость палубы, поэтому штормовые портики у фальшбортов закрываются крышками, которые могут открываться только для сброса воды с палубы, а проези в фальшборте не делают. На лесовозах фальшборты воспринимают давление палубного каравана леса и вместе со стенами обеспечивают его формирование и крепление и, если листы фальшборта присоединить к шпрингету, то последние могут сыграть определенную роль в обеспечении общей прочности корпуса.

В табл. 4 приводятся данные по наиболее повреждаемым конструкциям судов трех конструктивных типов. Наибольшие повреждения имеют шпангоуты сухогрузных судов (35,9 %). По-видимому,

Таблица 1. Повреждение конструкций на сухогрузных судах, %

Конструкция	Классовый лет эксплуатации											
	0-5	1-5	2-5	3-5	4-5	5-5	6-5	7-5	8-5	9-5	10-5	11-5
Шпангоут	6,1											12,5
Кильватер шпангоута												1,2
Средняя переборка												0,6
Лист переборки												0,2
Лист настила вторичного для фальшборта												0,1
Фальшборт												0,2
Рычковый шпангоут												0,1
Флоер												0,2
Лист палубы												0,2
Ванна												0,1
Декоративный стрингер												0,2
Обшивка палубы												0,1
Верхний стрингер												0,2
Верхняя обшивка												0,1
Продольная раба шпангоута												0,2
Верхний киль												0,1
Средний киль												0,2
Оперный флор												0,1
Верхний бортовой танк												0,2
Карлинг												0,1
Средняя продольная переборка												0,2
Рычковый лист												0,1
Рыч. двойного борта												0,2
Рычковый лист поперечной переборки												0,1
Поперечная переборка шпангоута												0,2
Другие листы												0,1
Всего	6,1	1,9	0,4	2,3	1,5	1,5	1,9	1,9	0,3	0,1	2,2	2,1
												4,8

Культура	Количество лет использования										Всего
	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	
Шпильгют	0,4	0,2	2,6	2,8	3,2	3,8	4,1	5,5	3,1	3,1	3,3
Кованый лезв	0,2	0,4	0,8	0,8	0,1	0,1	0,7	0,6	0,3	0,1	0,8
Свойный перебор	0,2	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3
Линт перебор	0,2	0,1	0,2	0,3	1,4	0,3	0,2	1,0	0,2	0,3	0,4
Линт накладка королоа лана	0,2	0,1	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,7	0,1	0,2
Фильберг	0,1	0,2	0,2	0,5	0,3	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,3
Рышый шлангер	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Филор	0,1	0,2	0,4	0,4	0,1	-	0,2	-	0,2	-	0,1
Линт палуба	0,2	0,2	0,1	1,8	0,3	0,6	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
Бамс	0,2	0,6	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,8	0,5
Доксидый стрелер	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,5	0,7
Обидана алтис	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,6
Коросый стрелер	0,1	0,1	0,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Коросый обидана	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,2	0,8
Предельные ребуе ланка											
Коросый мана				0,5				0,2		0,1	0,7
Сурый мет											0,7
Степартый флор				0,1			0,1				0,6
Варсый боросый лана								0,2			0,6
Коросый				0,1				0,1			0,4
Стедоса пролоный перебор								0,1			0,4
Ланосый баме	0,1										0,3
Лана дельбате бурне				0,3	0,4						0,5
Ланана (лобна позарисый перебор)				0,2	0,4						0,2
Пинерисый перебор лана-ла				0,4	0,4						0,2
Палубае сави				0,4	0,4						0,2
Другие лана				0,4	0,4						0,2
Всего	2,1	2,2	2,3	13,8	9,2	6,9	1,8	0,3	0,3	4,1	6,5

Table 2. Parameters estimated in simulations.

Конструкция	Количество лет эксплуатации										Всего				
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5					
Шпалы	0,1		0,5	8,8	1,1	1,8	5,3	5,1	2,4	1,8	2,8	1,6	0,4	6,9	30,5
Колесная лопка	0,1	0,1	0,2	8,5	0,8	1,0	2,9	2,3	2,0	1,5	1,3	8,8	0,1	6,2	0,1 13,8
Стелла для переноса параболов		0,1	8,2	2,2	8,5	1,2	1,1	2,7	1,9	1,0	0,7	0,8	8,1	0,1	31,8
Фанельюру	0,1	0,1	8,4	0,4	6,7	2,3	1,6	1,4	1,2	0,7	8,7	1,2	8,2	0,1	30,5
Лист напарной тарбаран		0,1	8,1	0,5	8,3	1,8	0,4	1,2	1,9	0,4	8,4	0,3	8,2		5,9
Двухвалый строкер	0,1		8,1	1,2	8,6	8,2	0,7	1,6	0,2	6,2	8,1	0,2	8,1		5,4
Лист оторочка тина	0,2	0,1	8,2	0,8	6,2	8,2	0,4	8,8	0,2	6,3	8,2	0,2	8,1		9,8
Решетчатый станок				0,7	6,2	8,4	0,3	1,2	0,2	6,2	8,2	0,1	6,1		3,7
Объемная решетка	0,2	0,7	8,1	0,4	0,1	8,3	0,3	6,5	0,2		8,1		6,2		3,1
Фиэр	0,2	0,1	8,1	8,7	0,1	8,3	0,1	1,2	0,1	1,2	0,1	8,2			3,1
Верхний структур				8,2	0,1	8,2	0,2	6,3	8,2	0,2	8,5	8,1	0,3		2,0
Скучный лист				0,4				0,3	1,0	8,3		8,2			2,0
Продольное ребро изгиба	8,1	0,1	0,1	8,5	0,2	6,1	0,2	6,5	8,1		8,1				1,9
Рамы (дерево борта, димонь)						0,5	6,1	0,4	0,2		0,1	8,2			1,5

Конструкция	Количество лет эксплуатации										Всего		
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,5	10,5	12,5			
Вертикальная обшивка													
Стреловидный борт											1,3		
Опоясанный фюз.											1,2		
Рычажная балка											0,7		
Рычаг двойного борта (Борт)											0,6		
Балка											0,5		
Стойка поплавочной переборки											0,5		
Лист палубы											0,3		
Боксовой кость											0,3		
Рычажная стойка поплавочной переборки											0,3		
Карданы											4,1		
Другие связи													
Всего	1,0	1,2	1,6	12,3	4,4	8,4	9,0	23,6	16,7	7,8	6,9	0,1	190

1. $\alpha \in \mathbb{R}$. α is the parameter of the distribution.

Компоненты	Количество вет. материалов															Итого
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	
Шпалеры		8,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1,4	3,4	1,0	2,1	6,7	2,4	1,8	0,1	0,2	
Верхний полукаркас талы				0,7	0,2	0,4	0,8	1,8	0,5	0,5	2,0	5,0	1,1	0,2	0,4	0,5
Долговеш переклад				0,2	0,2	0,6	0,2	2,9	0,1	0,2						6,7
Филер	0,2	0,3	0,1	0,4	0,7	0,2	0,5	2,2	0,1	0,1			0,1			5,1
Бонки				0,1	0,2			0,2	0,2		0,8	3,1				4,2
Рыбий каркас	8,2	0,1	0,2	0,2	0,2	1,5	3,5	0,6			0,2	0,1	0,2	0,1		6,1
Осушитель свет				0,7	0,2		0,4	0,5	0,2	0,5	0,8	0,5	0,2			3,6
Стелла полноречный парабора	0,1		0,1	0,2			1,2	0,2	0,2	0,8	0,5	0,1				3,2
Лист аттесто лив			0,1	1,1	0,2	0,1	0,3	0,4	0,3		0,2	0,1	0,2			3,0
Верхний полноречный свель (рамка)	0,1			0,5		0,1	0,1	0,4	0,6			0,4	0,2	0,2		2,6
Прямые ребро лива				0,2	0,2		0,4	3,1	0,2	0,1	0,3	1,2				2,5
Верхний гравитер	0,1	0,2		0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	2,5
Лист полноречный парабора	0,1		0,1	0,2		0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,6			2,4
Стелла полноречный парабора			2,0	0,1	0,2	0,1	3,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2			2,4

Конструкция	Классификация по типу конструкции															Всего
	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	
Рамы подкрепляющей палубы							0,1	0,1	0,1		0,1	0,8	0,3	0,3	0,3	2,4
Шпальфы палубных переборок			0,2				0,1	0,1	0,4	0,1	0,4	0,3	0,3			2,1
Продольные переборки							0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,8	0,1	2,6
Рамы подкрепляющего днища						0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4				1,9
Фальшборт	0,4	0,5				0,2	0,2	0,1	0,1							1,5
Листы декинговой обшивки	0,3					0,1	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2					2,5
Комплект деки		0,2	0,1			0,1	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2					2,1
Лист палубного настила												0,4				0,4
Вертикальные рамы продольной переборки													0,1			0,1
Стрелки продольной переборки																0,0
Лист обшивки борта	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2		0,1	0,1	0,2	0,1	0,2					1,5
Карлинг						0,1			0,8		0,2					0,7
Другие конструкции	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	1,3	0,6		0,5	0,4	0,4		0,3	5,5
Всего	1,4	2,8	1,3	2,6	4,7	3,9	7,2	17,7	7,4	5,4	13,4	19,1	4,5	1,2	2,8	108

Таблица 4. Наблюдения по повреждению конструкций, %

Конструкция	Тип судна		
	Сухогрузные суда для генеральных грузов	Пассажирские	Суда, перевозящие навалочные грузы
Шпангоуты	35,5	30,6	30,5
Комплексы палуб	7,3	13,8	—
Стойки поперечных переборок	6,3	11,8	—
Листы поперечных переборок	6,2	8,9	—
Фальшборт	4,3	10,5	—
Подпалубные талки	—	—	14,7
Динамический стрелит	—	—	6,7
Фигуры	—	—	5,1
Вспомогательные	—	—	4,3
Итого	69,8	83,9	51,3

это результат частых швартовок, а также ударов грузом. Несколько меньше повреждаемость шпангоутов на лесовозах и навалочниках (около 20 %).

Важно заметить, что на сухогрузных судах комплексы повреждаются примерно в два раза чаще, чем фальшборт. Предложение использовать фальшборт как связку эквивалентного бруса [2] встретило возражения из-за большой вероятности их повреждения во время грузовых операций, тогда как против включения в эквивалентный брус непрерывных продольных комингсов никто не протестует. Сравнивая данные о повреждениях фальшбортов и комингсов сухогрузных судов, можно сделать заключение, что ничто не мешает включать фальшборт в эквивалентный брус.

Из табл. 4 видно, что повреждения в фальшбортах лесовозов самые большие (10,9 %). Вероятно, эти конструкции на эксплуатационных лесовозах не обеспечивают достаточной надежности и не выполняют полностью своего функционального назначения — воспринимать усилия от леса, перевозимого на палубе. Следовательно, требуются дополнительное изучение условий работы фальшбортов и изменение их конструкции.

Для улучшения качества и увеличения надежности отдельных корпусных конструкций следует периодически производить разработку отраслевых руководящих документов типа Правил конструирования корпусов морских судов, основываясь на самом подробном изучении повреждений конструкций по достаточно полным и достоверным статистическим отечественным и иностранным данным. Приходящие ныне таблицы могут служить одним из источников таких данных.

Для усовершенствования корпусных конструкций необходимо учитывать опыт эксплуатации модернизированных узлов, получивших ранее повреждений. Заслуживает внимания практика эксплуатации отремонтированных на Дальнем Востоке судов. В течение многих лет каждую модернизированную конструкцию осматривают при появлении судов в портах и проверяют ее надежность. Иногда такие конструкции обследует во время плавания путем замеров напряжений в них. Успешная эксплуатация усовершенствованных узлов дает основание включать их чертежи в руководящие документы и альбомы типовых конструкций*.

Кратковременные импульсные нагрузки, вызывая остаточные деформации, оказывают своеобразное воздействие на материал конструкций. Замечено, что деформации (остаточные просгибы) при действии импульсных нагрузок меньше, чем при действии статических нагрузок той же величины.

На рис. 6 приводятся диаграммы частоты повреждений набора в грузовых трюмах в грузовых трюмах судов трех разных типов. Как видно из рисунка, наибольшее количество повреждений на каждую сотню судов наблюдается на малаочечниках через 12–13 лет эксплуатации. Это объясняется своеобразием грузовых операций на этих судах. Действительно, нагрузка малаочечников производится путем образования малаочечных грузов в трюмы через их люки. Разгрузка сыпучих грузов осуществляется трейферами, а металлолома — электромагнитами. В обоих случаях на конструкции днища, бортов и переборки действуют сосредоточенные усилия часто динамического характера. При использовании специальных средств разгрузки в виде ковшевых экскаваторов [1, рис. 58] или опускаемых в трюм подъемников создаются дополнительные усилия, действующие на набор и обшивку, в том числе и на подпалубные танки, которые в эксплуатации часто получают повреждения (см. табл. 3).

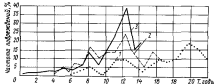


Рис. 6. Повреждения набора в грузовых трюмах
1 — стальной корпус; 2 — алюминий; 3 — малаочечники.

*Комплекция систем технического обслуживания и ремонта судов // Методика диагностики корпусов морских судов. РД 31.28.36-88. М.: Мортехинформреклама, 1988.

При сроке службы до восьми лет частота повреждений судов трех рассмотренных типов близка друг к другу, но после этого срока у малаочечников она быстро увеличивается, достигая максимума к 12–13 годам их эксплуатации. Сухогрузные суда к этому времени имеют частоту повреждений меньше 10%, ледовосы — почти 25, а малаочечники — свыше 35%.

На рис. 7 для судов трех типов приведены диаграммы частот повреждений трех видов на одно судно по мере увеличения времени эксплуатации. За 100% принята частота повреждений для срока службы судна, при котором повреждаемость наибольшая.

На рис. 8 даны диаграммы повреждений в наборе судов разных типов, возникающих из-за вибрации, по данным Ажеты [159].

Имея статистические данные по повреждениям, можно своевременно принимать меры с целью предотвращения повреждений. Такие предупредительные меры, как замена отдельных конструкций или их подкрепление, могут способствовать уменьшению частоты повреждений, а также избежанию аварийных ситуаций, возникающих в результате накопления повреждений.

Большое количество повреждений на сварных судах происходит из-за того, что на наличие повышенной концентрации напряжений в сварных швах не обращают должного внимания. Одной из причин возникновения такой концентрации в сварных швах является резкое изменение их поперечного сечения. Другой причиной, вызывающей высокую концентрацию напряжений, является резкий обрыв связей в поле

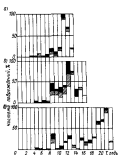


Рис. 7. Повреждения набора грузовых трюмов: а — малаочечники; б — ледовосы; в — сухогрузные суда
■ — трещины; □ — деформации; ▨ — коррозии

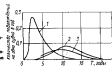


Рис. 8. Количество повреждений, возникающих в результате вибрации
1 — в наборе сухогрузного судна; 2 — в переборке набора Дельта танкера; 3 — в наборе переборки танкера

неподкрепленных пласти (жесткие точки). В результате по концам таких связей наблюдается местные колебания листов, сопровождаемые возникновением больших местных напряжений, приводящих к образованию трещин. Наконец, высокая концентрация напряжений наблюдается во всякого рода пересечениях набора разных направлений, когда балка одного направления проходит через отверстие в балке высоких балках другого направления.

На новых судах устанавливаются своеобразные перемычные связи, которые по-разному группируют в корпусе. Такие связи оказывают взаимное влияние друг на друга. Например, для вентиляции между палубных помещений на судах, переоборудованных колесную трюмную, в палубе вдоль бортов по длине судна делают расположенные друг за другом круглые отверстия, в которых устанавливают вентиляционные дифлекторы. Эти отверстия ослабляют и так очень напряженный район верхней палубы у палубного стрингера. При отсутствии поперечных переборок на судах с горизонтальной поперечной усложняется конструкция прохода мачт через главную палубу. Все чае на судах используют палубно-бортовые и бортовые нарезки (лашпорты), закрываемые специальными водонепроницаемыми крышками. Работа конструкций с такими нарезками в составе корпуса своеобразна, и распределение напряжений в районе вырезов носит сложный характер.

Вопросы совершенствования формы связей с различными отверстиями и связей, резко образующихся по длине, а также различные конструктивные приемы, способствующие уменьшению концентрации напряжений в конкретных конструкциях, будут подробно рассмотрены далее, при изучении отдельных конструкций.

Повреждения конструкций танкеров представляет исключительный интерес из-за особенностей их конструкции и агрессивности перевозимого груза. Заслуживают внимания исследования греческого профессора А. К. Ангонио [160], который проанализировал опыт эксплуатации и ремонта 233 танкеров старой постройки (без двойного дна и без двойных бортов) с точки зрения рациональности. Обследовались танкеры грузоподъемностью от 30 до 100 тыс. т в возрасте от 3 до 22 лет, построенные в разных странах под наблюдением различных классификационных обществ. Почти на всех судах во время эксплуатации появлялись трещины, характер которых на разных судах различен. А. К. Ангонио отмечает, что встречаются как хрупкие, так и усталостные трещины, которые, однако, строго разделить очень трудно. Тем не менее к усталостным трещинам он относит трещины, появившиеся после нескольких лет эксплуатации и медленно распространяющиеся по корпусу, а к хрупким — трещины, возникшие внезапно и быстро распространившиеся по конструкциям. С таким разделением вряд ли можно согласиться, поскольку явления усталостных и хрупких повреждений значительно сложнее и зависят от многих причин, действующих одновременно.

Сравнение повреждений на сухогрузных судах и на танкерах показывает, что количество повреждений, появившихся в первые годы эксплуатации, на сухогрузах значительно больше, чем на танкерах.

Это объясняется более качественным изготовлением конструкций танкеров, в результате которого почти не наблюдается малозначительной усталости. Кроме того, конструкция сухогрузных судов сложнее и число перемычных связей на них больше. Максимальное же число повреждений на танкерах появляется через 9–12 лет эксплуатации (см. рис. 8) как результат обычной усталости и как результат все еще значительной концентрации напряжений в отдельных узлах, чему способствует и быстрый износ конструкций от коррозии. После 9–12 лет эксплуатации количество повреждений на танкерах от коррозии начинает снижаться. С течением времени (через 17 лет) уменьшается число повреждений от коррозии и на сухогрузных судах (см. рис. 7, а). Уменьшение количества повреждений от коррозии после его пика может объясняться тем, что некоторые конструкции модернизируют во время ремонта и их коррозионная стойкость и прочность повышается. Так, на танкерах число повреждений значительно уменьшается после модернизации районов конструкций пересечения продольных ребер с флорами и переборками и после подкрепления вырезов облегчения в рамных штапелютах и в рамных стойках продольных переборок.

Наибольшее количество трещин на танкерах возникает в грузоник танках и очень малое — в оконечностях. Это объясняется возможностью увеличивать осадку порожнего танкера, значительно уменьшать интенсивность ударов носовой оконечности о воду и избежать большого оголения винта. В результате уменьшаются динамические нагрузки, вибрация и повреждения от них конструкций в носу и в корме.

Некоторые ученые считают, что из-за медленного распространения трещин, появившихся на танкерах, для прочности конструкций они не представляют опасности [160]. Это заключение, сделанное на основании наблюдений за танкерами, плававшими в теплых районах, нельзя отнести к танкерам, эксплуатируемым при низких температурах, поскольку трещины, возникшие в таких условиях, могут представлять серьезную опасность из-за возможности быстрого их распространения.

При регулярной перевозке бензина на танкерах весь район расположения грузоник танков приходит в негодность уже через 8–9 лет, в то время как оконечности еще находятся в удовлетворительном состоянии. Это позволяет заменять во время ремонта среднюю часть шельфовой, оставляя нос и корму старого судна [17]. Необходимо отметить, что на тех же танкерах в танках чистого балласта, куда нефтяные грузы не принимаются, а берется только балластная вода, коррозия значительно меньше.

На основании опубликованных Регистром Ллойдс (Англия) данных [8, § 41] можно сделать следующие выводы:

на танкерах при эксплуатации конструкции повреждаются не чаще, чем на судах других типов;

на частоту появления повреждений на танкерах, так же как на сухогрузных судах, оказывает влияние их скорость; скорость же крупных танкеров в среднем меньше, чем скорость сухогрузных судов;

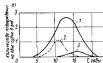
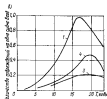


Рис. 9. Количество повреждений от коррозии: а — танкеры; б — сухогрузные суда

1 — общее число повреждений; 2 — набор коррозийных повреждений; 3 — набор гадюк; 4 — царапины в трюме



может быть, поэтому на танкерах в первые годы эксплуатации не отмечается повреждений конструкций;

количество повреждений от коррозии на танкерах (рис. 9, а) больше, чем на сухогрузных судах (рис. 9, б).

Показанное на приведенных выше диаграммах уменьшение с некоторого момента количества трещин и деформаций объясняется тем, что часть дефектов в конструкциях при ремонте устраняется. Для возникновения новых трещин необходимо определенное сочетание отдельных экстремальных условий во время эксплуатации. Такое сочетание возникает не так часто, но в первую половину срока эксплуатации при обычных напряжениях и степени совершенства конструкций недостатков и даже не особенно высокая концентрация успевает себя проявить. Модернизация поврежденных конструкций создает условия для дальнейшей успешной их работы.

Известно, что в конструкциях с высокими напряжениями за счет образования зон текучести происходит срезаание пиков напряжений и со временем эти напряжения уменьшаются. Это прежде всего касается сварочных и других термических напряжений, которые преобладают себя в самом начале эксплуатации судов и в виде остаточных деформаций и трещин.

Многие суда большинства стран мира по роду своей деятельности находятся в более благоприятных условиях, чем суда овецественного флота. Поэтому данные по эксплуатации и повреждению судов овецественного флота последних лет постройки представляют особую ценность и требуют регулярный их сбор и анализ.

1.5. Масса судовых конструкций и оптимизация конструктивных решений

Проектирование отдельных конструкций и всего корпуса судна как любого инженерного сооружения предполагает решение вопросов максимального уменьшения металлоемкости, упрощения технологии постройки и ремонта. Обычная практика проектирования корпусных

конструкций судов традиционных типов основывается на записях, регламентированных Правилами Регистра СССР. При разработке конструкций судов новых и перспективных типов используются научно обоснованные нормы и современные методы расчета прочности, подтвержденные натурными и модельными экспериментами.

Снижение металлоемкости и улучшение технологичности при постройке и ремонте судов — две важнейшие задачи, которые всегда стояли перед судостроителями. При решении этих задач необходимо обеспечивать надежность работы корпусных конструкций на достаточно высоком уровне, так как от этого зависит безопасность плавания и объем затрат на техническую эксплуатацию. При технической эксплуатации подразделяют мероприятия по сохранению судна и уходу за его конструкциями с целью уменьшения коррозии и износа.

Использование современных красок и надлежащий уход за корпусом могут способствовать уменьшению запасов на коррозию его конструкций и снижению металлоемкости за счет уменьшения строительных толщин. Однако уменьшение запасов на коррозию может при нарушении правил нанесения защитных покрытий привести к дополнительным эксплуатационным расходам, связанным с заменой износившихся участков конструкций, а также к дополнительным затратам металла и других материалов.

В то же время принятие обоснованных дополнительных запасов на коррозию, приводящих к увеличению металлоемкости и снижению чистой грузоподъемности, может быть экономически оправданным. Действительно, при замене изношенных конструкций в отходы уходит большое количество работоспособной стали. На металлолом отправляют 40–70 % материала конструкций, затраченного при постройке, а при восстановлении дефектной конструкции требуется столько же металла, сколько было затрачено в процессе постройки судна.

Часто бывает экономически оправдано при проектировании судна или при разработке ремонтной документации назначать утолщенные связи, которые не нужно заменять из-за износа в течение всего срока эксплуатации судна. Такие связи следует предусматривать для всех судов со сложным оборудованием и для конструкций внутренних помещений, закрытых перегородками и обшивкой. Так, расчеты показали, что на траулерах типа «Прометей» увеличение на 2 мм толщины листов палубы бака и на 1 мм толщины листов второго дна обеспечило бы общую продольную прочность судна на весь срок эксплуатации. Это потребовало бы дополнительно 35 т металла, а экономия в результате ликвидации обычно требующихся замен за нормативный срок эксплуатации составила бы около 300 т*.

Особое значение в снижении металлоемкости конструкций судового корпуса может иметь оптимизация конструирования отдельных связей и элементов, их соединений и пересечений. Эти мероприятия, выполняемые на современном уровне, помогают обеспечить

*Закозельный В. И., Розенберг В. И., Симонянц А. И. // Судостроение. 1986. № 3.

минимальные металлозатраты и необходимую работоспособность цепей перекрытий при восприятии внешних статических и динамических нагрузок*.

В составе корпуса до сих пор имеются конструкции, выполнявшие роль ограждений (фальшборт) или водонепроницаемых закрытий внутренних помещений (рубки), которые, конечно, но без достаточного веса оснований исключают из работы по обеспечению обшей и местной прочности корпуса. Во многих случаях целесообразно жестко присоединить фальшборт к борту, а длинные рубки делать без поперечных компенсаторов (подвижных соединений), включать их в работу по восприятию внешних воздействий. Это позволяет снизить металлоемкость корпуса судна.

Расчетная оценка работоспособности конструкций сдерживается недостаточно достоверными теоретическими положениями, описывающими работу корпусных конструкций различных сложных узлов пересечения связей, включающих разнообразие прерывистые связи, а также узлов, работающих при сложном объемном напряженном состоянии в условиях геометрической нелинейности и высокой концентрации напряжений. Сравнение теоретических исследований по определению поля напряжений в узлах и элементах конструкций, проведенных разными авторами у нас и за границей, приводит к противоречивым выводам и значительному разбросу получаемых результатов.

Многие десятилетия конструирование узлов корпуса основывалось на опытных данных, полученных во время эксплуатации. Степень рациональности устанавливаемых на судне конструкций зависела от интуитивной интуиции конструктора. В последние время большое количество различных экспериментальных и натурных исследований дало возможность накопить достоверные данные о работоспособности конструкций, позволившие уточнить результаты теоретических исследований и достигнуть уменьшения массы отдельных конструкций.

Оценка максимального уменьшения трудоемкости и металлоемкости в каждом частном случае и для каждой отдельной конструкции требует подробного анализа с учетом условий, в которые входит судно в том районе, где оно будет эксплуатироваться. Но для такого анализа судостроители до сих пор не располагают достаточно простыми критериями оценки степени оптимальности принимаемых проектных решений.

Г. Я. Бойцов предложил методику оптимизации конструкций судового корпуса с учетом снижения металлозатрат и трудоемкости изготовления [28, 29]. В результате анализа общего экономического эффекта эксплуатации судна за весь срок его работы получены данные, позволяющие оценить проектные решения для всего корпуса и для отдельных групп его связей.

Необходимо учитывать, что увеличение толщины ряда конструктивных сверх требуемых по условиям прочности иногда производится с целью придания судну товарного эстетического вида и создания возможностей использования определенного газорезательного и сварочного оборудования. Возможное уменьшение толщины связей исходя из условий прочности нередко приводит к необходимости выполнения дополнительных работ по правке остаточных деформаций при постройке и частых ремонтах во время эксплуатации.

В составе корпуса имеются конструкции, изнашивающиеся быстрее, чем другие. При постройке их следовало бы утолщать, а те конструкции, которые изнашиваются медленнее, наоборот, можно было бы делать тоньше. Так, на судах типа "Омск" за 20 лет полностью изнашивались форники и на нескольких судах серии асо поперечная часть пришло к замене, в то время как средняя часть находится в достаточно хорошем состоянии, хотя близится срок списания этих судов. Если бы при постройке часть металла за счет уменьшения толщины в средней части перекести в форник, то средняя часть судна и экономичности изнашивались бы одновременно, а масса всего корпуса после такого перераспределения металла по длине судна могла бы даже уменьшиться.

С целью уменьшения затрат на ремонт и расхода металла целесообразно бортовые перекрытия конструировать так, чтобы второй борт при деформации наружного борта оставался неповрежденным. Этого можно добиться установкой между бортами распорок (см. рис. 183) вместо титанового набора (стрингеров и рыловых плангоутов) [12].

Предлагаемые конструктивные мероприятия позволяют добиться существенной экономии металла при проведении восстановительных работ. Эти мероприятия могут оказаться экономически выгоднее, даже если при постройке или при модернизации потребуется несколько увеличить массу перекрытий. Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение массы конструкций при постройке позволяет получить значительную экономию при ремонте за счет уменьшения объема ремонтных и сопутствующих работ.

Выбор оптимальной конструкции, как уже было установлено выше, является многовариантной задачей*. Оценку предлагаемых решений производят по различным показателям, отражающим функциональные характеристики конструкций. Конкретные характеристики определяют с помощью критериев, позволяющих оценить наиболее существенные возможности конструкций в условиях постройки и эксплуатации. Однако точность оценки в некоторых случаях может оказаться недостаточной из-за погрешностей используемых методов.

Выбор критерия при проектировании различных узлов судового корпуса зависит от условий эксплуатации и методов изготовления. Эффективность критерия определяется степенью совершенства проектируемой конструкции.

*Методика деформации корпусных конструкций линейных тросов (дополнение к РД 31.38.30-88). Составлено в ГУ Регистра СССР 31.01.91.

*Бойцов Г. Я. Оценка проектных решений с учетом требований снижения трудоемкости изготовления конструкций корпуса. // Судостроение. 1990. № 5.

При назначении конкретных критериев оценки качества конструкций разных вариантов встречаются определенные трудности, которые вызваны недостаточностью знания условий, в которых конструкциям придется работать [42, 43]. Особенно трудно оценить требуемые пределы увеличения толщин связей, так как металлоемкость судов должна определяться не только массой корпуса, но и заполненной массой металла, используемого при ремонте и при модернизации, необходимость которых может возникнуть во время эксплуатации.

Последние исследования резерва прочности деформированных и комбинированных конструкций позволяют уменьшать объемы ремонтно-восстановительных работ после возвращения транспортных судов, участвовавших в ледовых проходах.

Возможность использования расчетных методов позволяет при проектировании конструкций быстро ввести необходимые коррективы и изменить нерациональные конструкции, обнаруженные на плавающих судах. При этом открываются возможности использования новых научных разработок. Эти разработки могут сразу же реализовываться и на эксплуатируемых судах с целью модернизации недостаточно надежных конструкций.

Основными причинами нерациональности некоторых требований Правил Регистра СССР являются недостаточность знания внешних нагрузок, действующих на судно, и недостаточные быстрые изменения этих требований в связи с появлением судов новых типов. В деле совершенствования расчетных методов проектирования знание действительных внешних нагрузок является первостепенным для минимизации массы корпуса. Однако и в современных условиях использование расчетных методов позволяет уменьшить массу связей, обеспечивающих общую продольную прочность судна, на 5-10 %, а массу связей, обеспечивающих местную прочность, даже на 20-30 % [29] и дает возможность отказаться от устаревших технических решений.

При постройке больших серий одноименных судов необходимо пересматривать их проекты каждые два-три года в течение нескольких лет с целью приспособления судов к меняющимся условиям эксплуатации. Это иногда следует делать еще до того, как начнется строительство первого судна серии, из-за длительности циклов согласования проектов и постройки судов. Известны случаи, когда судно для перевозки грузов в ледовых условиях с усиленными за счет ледовых усилений корпусом оказывается слишком и его используют для перевозки грузов в обычных широтах. Так, судно класса ПЗ, регулярно перевозящее лес в Японские из Приморья, где льды судоводству не препятствуют, имеет избыточную массу, составляющую 5-6 % массы всего корпуса.

Число судов отечественного флота с ледовыми подкреплениями в некоторых бассейнах превышает потребность в них. Например, на Дальнем Востоке годовая объем грузоперевозок, для которых требуется суда с ледовыми подкреплениями, составляет около 16 %, усиленные же ледовые подкрепления класса от ПЗ до УЛА имеют 55 % транспортных судов, что составляет 45 % общего дефлота. Только

от 20,3 до 37,3 % годового эксплуатационного времени суда плавают в ледовых условиях.

Необходимо отметить некоторые моменты, оказывающие влияние на увеличение массы корпуса.

При проектировании конструкций новых судов иногда принимаются недостаточно оправданные решения. Так, на ряде грузовых судов, например на лесовозах, плавающих в обычных, не ледовых, условиях, без необходимости устраиваются двойные борты, увеличивающие массу корпуса. За счет двойных бортов только уменьшается объем в трюмах. Устройство удлиненного бака на контейнеровозах и лесовозах также не вызывает необходимости. Более того, удлиненный бак затрудняет загрузку контейнеров и леса в неудобный для размещения груза танкер, образовавшийся на главной палубе в первом трюме. Правда, на судах, построенных в последние годы, такой бак уже не делают.

Таким образом, для нахождения показателей оценки целесообразности конструкций с точки зрения минимизации их массы необходимо установить характерные особенности судна данного конструктивного типа. Как видно из приведенных примеров, суда различных типов обладают разными специфическими особенностями, связанными с условиями эксплуатации и требованиями транспортного процесса в отдельных регионах.

Прочность отдельных конструкций корпуса при анализе оптимальности металлозатрат обычно оценивают в упругой стадии их деформирования. Возникновение в конструкциях напряжений не должно вызывать усталостных и хрупких разрушений, а также изменений формы конструкций.

При проектировании перекрытий можно предлагать разные способы установки продольного и поперечного набора, поддерживающего листы обшивки, которые будут значительно отличаться одна от другой. Необходимо установить, какая система набора перекрытия при выполнении перекрытия совершенно определенных функций будет наиболее рациональной относительно массы.

Требуется минимально разобраться, какой системе набора следует отдать предпочтение (продольной, поперечной, склейчатой или комбинированной) для каждого отдельного перекрытия. Надо принять обоснованные решения относительно минок стейл для отдельных перекрытий. При этом необходимо при выборе оптимальных характеристик перекрытия использовать надежные критерии. От того, насколько надежны принятые критерии для оценки рассматриваемых отобранных вариантов конструкций, зависит степень оптимальности выбора окончательного варианта.

Использование численных методов и ЭВМ позволяет успешно решать многовариантную задачу выбора оптимальных конструкций перекрытий. Для этого созданы унифицированные программы, включающие в себя анализ выбора проектных переменных, формулирование задачи, составление уравнений связей и уравнений граничных, выбор критериев оценки, степени рациональности конструкций.

Критерий минимальной массы перекрытий позволяет определить возможность уменьшения массы корпуса и целым и отдельным составляющим его конструкций путем нахождения наилучшего распределения материала между обшивкой и подкреплением ее набором. Исходя из функционального назначения отдельных перекрытий, необходимо обеспечить их надежное опирание на соседние перекрытия при одновременном выполнении всеми перекрытиями их функций в составе корпуса судна. Называя толщину листов обшивки, следует установить рациональное соотношение размеров элементов поперечных сечений балок набора, подкрепляющих листы.

Критерий использования кубатуры помещений дает возможность учитывать при проектировании возможно меньшую степень загромождения внутренних помещений во избежание уменьшения полезного их объема.

Выбор расстояния между балками набора разных направлений имеет большое значение для технико-экономических показателей конструкции. При увеличении расстояния между набором разных направлений (продольной шпангоут, поперечной шпангоут) создаются благоприятные условия для изготовления конструкций и уменьшаются трудозатраты. Но такое увеличение ведет к установке более высокого набора, загромождению внутренних помещений. Критерий минимальной массы перекрытий, наборов, требует очень небольшого расстояния между балками набора. При этом обеспечивается минимальное загромождение внутренних объемов корпуса, но стоимость изготовления таких конструкций увеличивается, и их обслуживание при эксплуатации (очистка, окраска, ремонт) встречает определенные трудности.

Критерий эффективности эксплуатации зависит от степени учета всех особенностей использования судов в разных условиях и в разных регионах. При проектировании конструкций необходимо учитывать ценный опыт эксплуатации ранее построенных судов, плавающих в аналогичных условиях. Во всех случаях должны обеспечиваться надежность работы, возможность простого ухода за конструкциями и удобство их ремонта. Для этого конструкции перекрытий должны быть доступны для осмотра, очистки от ржавчины и окраски. Необходимо по мере возможности уменьшать количество всякого рода выступающих частей в виде резцовых книц и брантов, а также общую площадь, подлежащую очистке и окраске.

Критерий выбора стали для изготовления корпусных конструкций определяет возможность уменьшения массы корпуса за счет использования сталей повышенной прочности (СПП), а также за счет использования легких сплавов.

З корпусостроения еще долго придется ориентироваться на сплавы, изготовленные на основе железа. Действительно, многие годы сталь остается единственным материалом, обладающим необходимым для корпусных конструкций сочетанием физических и механических свойств. Однако требования повышения надежности и безопасности эксплуатации судов заставляют заниматься коренным улучшением

качества сталей, созданием новых ее марок с более высоким характеристиками по сравнению с используемыми в настоящее время. Великий кораблестроитель акад. А. Н. Крылов при рассмотрении проектов кораблей всегда отмечал, что их технические характеристики находились в прямой зависимости от свойств судостроительной стали. Поэтому процесс усовершенствования качества сталей будет интенсивно продолжаться.

Всегда разработка новых высокопрочных корпусных сталей вызывается желанием уменьшить массу конструкций, обеспечить хорошую свариваемость, коррозионную стойкость и возможность использования этих сталей в экстремальных условиях Арктики на судах новых типов, в том числе на ледоколах новых конструкций, плаварках ледостровах, обычных транспортных судах ледового плавания и различных морских сооружениях для работы на шельфе.

Выбор конструкций, которые следует делать из СПП, представляет собой сложный процесс согласования противоречивых требований к конструкциям. Уменьшение массы конструкций сопровождается значительным увеличением их стоимости и не всегда целесообразно обмениваемые углеродистые стали (ОУС) заменить СПП.

Установлено, что чем больше длина судна L , тем целесообразнее использовать стали более высокого сопротивления. Ниже приводятся приближенные пределы текучести σ_s сталей, которые следует использовать для судов, имеющих разную длину.

σ_s , МПа.....	240	300	350	400
L , м.....	140	140-190	190-230	230

Таким образом, удачный проект конструкций корпуса данного судна определяется хорошей сбалансированностью противоречивых требований, суть которой заключается в малой массе корпуса, в достаточной для конкретных условий плавания прочности, в простоте обслуживания и ремонта, в высокой безопасности обслуживания, достаточной долговечности на заданный срок.

Контрольные вопросы

1. Что такое местная прочность конструкций корпуса?
2. Какие существуют критерии местной прочности?
3. Назовите признаки повреждений конструкций на морских судах.
4. Какие конструкции корпуса судна являются наиболее повреждаемыми?
5. Каковы возможности оптимизации конструкций при ремонте судов путем использования опыта их эксплуатации?
6. В чем состоит оптимизация конструктивных решений путем изучения условий работы повреждаемых конструкций?

2.1. Характеристики поперечного сечения балок

Как уже отмечалось, ограничение габаритов балок набора в перекрытия ведет к утяжелению перекрытий. Поскольку масса балок составляет около 30 % массы стального корпуса, то выбор рациональных профилей балок с точки зрения уменьшения массы корпуса имеет большое значение.

Ранее, при изучении проблем проектирования эквивалентного бруса и других поперечных сечений корпуса, рассматривался вопрос равномерного распределения материала по высоте и было установлено, что балки продольного набора вместе с обшивкой обеспечивают прочность корпуса судна при общем его продольном изгибе и, кроме того, сохраняют устойчивость листов обшивки при их сжатии. Продольные балки концами опираются на поперечные переборки, а в промежутке между переборками их поддерживают поперечные рамы. Балки поперечного набора также обеспечивают, хотя и в меньшей степени, чем балки продольного набора, устойчивость листов обшивки, и при листах обшивки большой толщины можно обойтись только поперечным набором.

Балки как продольного, так и поперечного набора кроме общей продольной прочности должны обеспечивать и местную прочность, воспринимая действие поперечных нагрузок в виде давления воды, груза, ударных нагрузок от волн, давления со стороны килевых или при постройке на стапеле и при спуске судна, а также при постановке его в док для ремонта.

Критерий ограничения высоты балок набора из условия образования внутри корпуса больших свободных объемов не позволяет добиться минимальной массы перекрытий. Уменьшение высоты стенок профиля балок для сохранения заданного значения момента сопротивления поперечного сечения приводит к необходимости увеличивать площадь свободного полка. Однако из условий удобства выполнения сборочных и сварочных работ ширина полков, так же как расстояние между балками, ограничивается, в отношении ширины полков к их толщине регламентируется с целью обеспечения устойчивости полков. В результате перечисленных ограничений профиль балок получается невысоким, но его элементы имеют большую толщину, что усложняет сварку, так как требуется разделка кромок. Кроме того, не всегда удается подобрать такие утолщенные листовые профили и приходится пользоваться составными профилями, сваренными из отдельных полос.

При выборе профилей для балок набора следует учитывать возможность надвигания и удобного соединения соседних элементов конструкций, а также необходимость прохода балок одного направления через более высокие балки другого направления или через водо-

непроницаемые переборки. Для прохода профилей разных сечений и обеспечения водонепроницаемости делают соответствующие вырезы. В разных конструкциях рациональными профилями могут быть полки, симметричный и несимметричный бугель, составной сварной профиль (см. том I, рис. 48). Например, наиболее рациональный симметричный полосоубульб из-за сложности его соединения с балками другого направления применителен реже, чем несимметричный. В последнее время все чаще с целью упрощения прохода ребер через поперечные непроницаемые переборки используют совсем нерациональные профили из прокатных полос, которые не имеют свободного полка.

Все большее распространение получают стандартизация основных элементов конструкций судов, в результате которой строгая стоимость и расходы на ремонт и обслуживание могут компенсировать отрицательные влияния увеличенной массы конструкций [58]. Экономические показатели судов, имеющих корпусные конструкции со стандартными элементами, могут оказаться выше, чем те же показатели подобных судов с нестандартными элементами.

Для каждого проектируемого судна минимальная высота набора устанавливается обязательно с учетом района плавания. Действительно, для судов, плавających в холодных условиях, минимизация расхода стали на изготовление конструкций основывается на совершенно других предположениях, чем те, которые используются при проектировании судов, плавających в жарких широтах.

Обычное и целесообразное для яхт и судов ледового плавания двойное борта позволяет устанавливать набор внутри междубортного пространства, поэтому можно уменьшать его высоту, не беспокоясь о том, что объемы этих помещений, заполняемых жидкостями, загромождаются высокими балками набора. Возможно даже использование системы набора бортов в виде пространственных конструкций, образующих формы (см. рис. 183).

Появление контейнеровозов с направляющими для контейнеров в трюмах и на палубе позволяет эти направляющие перенести между собой и создать конструкции, способные обеспечивать как общую, так и местную прочность. Так как эти конструкции не мешают размещению контейнеров, то для использования высокого набора в трюмах и в двойном дне нет никаких препятствий. Аналогичные особенности имеют и конструкции наливных судов, балки набора которых также нет необходимости уменьшать по высоте.

Итак, для целого ряда судов имеется возможность выбирать оптимальные размеры поперечных сечений отдельных балок набора, принимая для них наиболее рациональную высоту в условиях работы совместно с листовыми обшивками, образующих присоединенные полки. Однако предварительно необходимо установить оптимальное расстояние между балками с точки зрения технологии постройки, ремонта и ухода.

Таким образом, минимальная масса набора может быть получена, если на высоту балок не накладывают ограничения. Поэтому достаточно задаваться только толщиной обшивки и расстоянием между балками

(присоединяем поперечный балок). Для поперечных сечений в средней части длины судна, в которых производится проверка общей продольной прочности, толщина листов вначале устанавливается по проекту.

При продольной системе набора листы вместе с продольным набором образуют наиболее напряженные при общей кривбе верхний и нижний пояски эквивалентного бруса. Продольные балки при этом обеспечивают устойчивость листов днаща и верхней палубы, и их высота и толщина должны приниматься достаточными для придания листам обшивки необходимых значений эйлеровых напряжений и устойчивости плоской формы изгиба самих балок.

Для верхнего и нижнего поясков эквивалентного бруса (верхней палубы, днаща и второго дна) высота балок всегда может выбираться оптимальной из условий местной прочности, так как продольный набор палубы (он проходит через равные балки большей высоты), продольные балки днаща и второго дна не мешают укладке грузов в трюмах.

Высоту балок набора бортов и поперечных переборок сухогрузных судов в трюме может оказаться необходимым выбрать меньшей, чем их оптимальная высота, давая возможность получить минимальную массу. Некоторое утолщение конструкций будет оправдано стремлением увеличить объем трюмов для размещения грузов за счет уменьшения высоты балок набора.

Варьируя элементами профиля балок, один из его элементов — листы обшивки — приходится принимать заданным. При заданных расстояниях между опорами (пролетах) и расстояниях между соседними балками, которые определяют ширину присоединенного пояска листов обшивки, работающего вместе с балками, массу отдельной балки характеризует площадь ее поперечного сечения, состоящая из площади стенки $f_{ст}$ и площади свободного пояска $f_{пс}$: $F = f_{ст} + f_{пс} = b\delta_{ст} + b\delta_{пс}$ (b и $\delta_{ст}$ — ширина и толщина свободного пояска; b и $\delta_{пс}$ — высота и толщина стенки).

При одинаковой площади поперечного сечения балок их момент сопротивления W может быть различным. Оптимизация размеров балки на основе минимума площади сечения F дает разные результаты. На рис. 10 показана зависимость отношения площади сечения балки F к минимально возможной площади F_{min} от соотношения $f_{пс}/f_{ст}$ при определенных исходных данных [42]. При заданной минимальной

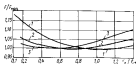
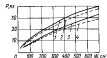


Рис. 10. Зависимость соотношения элементов площади сечения от соотношения площадей балок на их массу

1 — оптимальная высота и минимальная толщина стенки; 2 — оптимальная высота и минимальная толщина стенки; 3 — оптимальная высота и минимальная толщина стенки; 4 — оптимальная высота и минимальная толщина стенки

Рис. 11. Зависимость массы одного поперечного пояса различных профилей от момента их сопротивления



толщины стенки оптимальным профилем будет профиль с высотой стенки и небольшим пояском $f_{пс}/f_{ст} = 0.3 + 0.6$, а при заданном отношении высоты и толщины стенки оптимальный профиль будет иметь развитый поясок и немалую стенку $f_{пс}/f_{ст} = 1.0 + 1.2$; переменному отношению высоты и толщины стенки соответствуют промежуточные значения $f_{пс}/f_{ст}$.

Различные проекционные сведения к тому, чтобы при меньшей площади поперечного сечения балки не момент сопротивления был бы минимальным, а масса — максимальной (рис. 11). Размеры элементов поперечного сечения балок должны быть такими, чтобы при минимальных толщинах они не теряли устойчивости плоской формы изгиба (табл. 5).

Таблица 5. Наибольшие допустимые значения отношения высоты стенки симметричного профиля к ее толщине и отношения ширины полки к ее толщине, обеспечивающие устойчивость стенки и полки до появления в них течи

Нагрузка	Максимальное расчетное напряжение	σ_s , МПа				
		150	200	400	500	600
Чистый изгиб Изгиб со сжатием Чистое сжатие	σ_y и σ_x $\sigma_y = \sigma_x$, $\tau = 1.5\sigma_y$ $\sigma_y = \sigma_x$	79	73	63	58	51
		59	54	47	42	38
		56	53	45	40	36
Лобовая		σ_s/σ_y				
		—	33	29	26	26

Когда выбрана толщина листов наружной обшивки и палубного настила при известном поперечном сечении балок, можно найти оптимальную площадь, при которой обеспечивается наименьшая стоимость изготовления конструкции.

2.2. Составные сварные профили

Выбор оптимальных профилей для балок набора встречает затруднения в связи с ограниченностью сортамента прокатных материалов. Кроме того, профили часто не отвечают предъявляемым требованиям

из-за особенностей процесса прокатки и условий остывания после прокатки. Например, невозможно прокатать высокий профиль с тонкой стенкой и широкой полкой, так как деформации при остывании искажают форму сечения таких профилей, а процесс является дорогостоящей и сложной операцией. Поэтому при выборе соотношений элементов профилей проката принимают компромиссное решение, получаемое в результате согласования требований судостроения и металлургии.

Необходимо иметь в виду, что профили очень большого размера, без которых современное судостроение обойтись не может, вообще не прокатываются. Стоимость же запускных балок прокатных профилей значительно выше, чем составных сварных. Поэтому на судостроительных заводах окупаются экономически целесообразным образом изготавливать изготовление крупных сварных составных профилей из полосовой стали на специальных линиях.

Исследования, проведенные на отечественных судостроительных и судоремонтных заводах, показали, что значительно выгоднее изготовить составные профили на месте, чем получать их от других предприятий (см. Барбамов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1963, рис. 116, 117). Кроме того, замена, например, полосуобъемных составными сварными профилями позволяет уменьшить массу конструкций, так как при одинаковом моменте сопротивления поперечного сечения масса сварного профиля меньше. Выигрыш в массе при замене асимметричных катаных полосуобъемных составными сварными равен 16–30%. Это объясняется относительно меньшей толщиной стенок сварных профилей по сравнению с катаными, минимальные толщины которых диктуются условиями прокатки.

Выбор размеры элементов профиля из условий минимальной их массы, необходимо внести добавки на коррозию и износ. При этом следует пользоваться статистическими данными за многие годы, собранными в различных районах плавания для разных судов и разных конструкций, поскольку коррозия и износ в разных регионах Мирового океана, на разных судах и для разных участков корпуса значительно различаются. Следовательно, запасы на коррозионный износ необходимо брать разные [117].

При использовании сварных составных профилей появляется возможность корригировать запасы на коррозию, и в этом еще одно их преимущество перед прокатными, при применении которых такой возможности нет. Так, если в одних конструкциях наблюдается повышенный износ стенок, в других — повышенный износ в свободных поясках, то у сварных профилей увеличить толщину этих элементов можно.

Общая масса составных балок, которые не могут быть заменены прокатными профилями, составляет 3–10% массы металлического корпуса и зависит от конструкции и размеров судна.

2.3. Выбор размеров балок набора для отдельных переборок

Уменьшение массы переборок достигается в основном за счет уменьшения толщины листов обшивки. Однако с уменьшением ширины масса набора переборок возрастает.

Наименьшая масса переборок обычно соответствует конструкции с равным набором при расстоянии между балками набора, назначенном из условия возможности принятии минимально допустимых толщин листов, требуемых Правилами Регистра СССР для данных районов корпуса.

Чем меньше расстояние между балками набора, тем больше будет число балок, и, следовательно, больше всякого рода кивы и бракет, соединяющих эти балки с балками других переборок. В связи с этим возрастает длина сварных швов и усложняется сборка и соединение конструкций. При увеличении расстояния между балками набора увеличиваются размеры этих балок.

При расчете конструкций переборок, рам и отдельных балок производится определение максимального момента сопротивления поперечного сечения отдельных балок набора в зависимости от действующих нагрузок и допустимых напряжений. Зная потребный момент сопротивления для каждой балки, работающей в условиях изгиба, необходимо выбрать оптимальные размеры ее сечения.

Балки корпуса, приваренные к листам наружной обшивки, при изгибе под действием поперечной нагрузки прикладывают к участку в изгибе часть этих листов, прилегающую с обеих сторон к каждой балке. Эту часть листа называют присоединенным пояском листа (рис. 12).

В случае, когда листы обшивки между соседними балками не теряют устойчивости при сжатии конструкции, а отношение расстояния между балками b к их длине между осями l $b/l \leq 1/4$, ширина присоединенного пояска, работающего на изгиб вместе с балкой, берется равной расстоянию между соседними балками. При $b/l > 1/4$ присоединенные пояска берутся меньшей площади, так как при изгибе балок нормальные напряжения распределяются неравномерно по ширине пояска.

Размеры элементов катаных балок. Несмотря на меньшую экономичность катаных балок с точки зрения минимизации массы по сравнению с составными сварными, балки из профального проката широко применяют в судостроении, так как при небольших размерах их



Рис. 12. Присоединенный пояс обшивки, участвующий в изгибе вместе с набором
 b_1 и b_2 — ширина присоединенных поясков

стоимость заметно ниже составных сварных. Часто используемые в судостроении угловые для сборки, сварки и в эксплуатации несимметричные полосообразы из-за своей несимметричности имеют пониженную изгибную жесткость, и свободный поперек балки из такого профиля работает как бы неполной своей площадью.

При приближенном определении требуемого прокатного профиля, привариваемого к листам, пользуются формулами $W = 0,34F^2/\delta$; $F = 1,7\sqrt{W\delta}$; $I = hF^2/(4\delta)$; $F = 2\sqrt{4\delta I}$, где F — площадь поперечного сечения профиля; δ — толщина стенки; h — высота стенки.

Размеры элементов составных сварных балок. Выбор соотношений размеров элементов сварных профилей при заданном моменте сопротивления W и предположении, что площадь присоединенного поперечного обшивки задана и что она больше площади сечения самого профиля, производят следующим образом*.

По табл. 5 определяют наибольшее допустимое отношение высоты стенки к ее толщине, а затем вычисляют момент сопротивления W_0 по формуле $W_0 = 2(h/\delta_{\text{доп}})^2 \delta^3 / 3$, где $\delta_{\text{доп}}$ — минимальная толщина стенки, принимаемая из условий жесткости или по технологическим соображениям.

Возможны три случая.

1. Если требуемый момент сопротивления $W < W_0$, то $\delta = \delta_{\text{доп}}$ и высота стенки балки будет равна $h = 1,7\sqrt{W/\delta_{\text{доп}}(1 + f_{\text{ср}}/f_{\text{ст}})} \leq 4(h/\delta)_{\text{доп}}$, где $(h/\delta)_{\text{доп}}$ — максимальное значение отношения высоты балки к высоте ее стенки, при котором заведомо обеспечена прочность балки на срез. Если прочность на изгиб удовлетворена, то $(h/\delta)_{\text{доп}}$ выбирают по табл. 2 Справочника по строительной механике корабля**. В данном случае оптимальным является соотношение $\varphi_s = f_{\text{ср}}/f_{\text{ст}} = 0,3 + 0,6$. Его изменение незначительно влияет на массу профиля, а это позволяет уменьшать высоту стенки балки за счет увеличения этого соотношения.

После определения высоты стенки балки находят ее площадь $f_{\text{ст}} = h\delta_{\text{доп}}$ и площадь полки $f_1 = f_{\text{ср}}\varphi_s$.

2. Если $2W_0 \geq W \geq W_0$, то высоту стенки балки определяют по выражению $h = (h/\delta)_{\text{доп}} \leq 4(h/\delta)_{\text{доп}}$. Затем вычисляют площадь стенки $f_{\text{ст}} = h\delta_{\text{доп}}$ и площадь полки $f_1 = 1,2\sqrt{W/h} - f_{\text{ст}}$.

3. Если $W \geq 2W_0$, то $h = 1,3\sqrt{W\delta}/\sqrt{1 + f_{\text{ср}}/f_{\text{ст}}} \leq 4(h/\delta)_{\text{доп}}$. В этом случае наилучшие результаты с точки зрения экономии массы дает соотношение $\varphi_s = f_{\text{ср}}/f_{\text{ст}} = 0,3 + 1,2$. Площадь стенки равна $f_{\text{ст}} = h^2/(\delta/h)$, а площадь полки $f_1 = f_{\text{ср}}\varphi_s$.

Размеры балки выбирают из условия обеспечения ее устойчивости (см. табл. 5) и устойчивости плоской формы катя. Толщину полки принимают не меньше толщины стенки.

Когда все размеры полки и стенки профиля выбраны, вычисляют момент сопротивления поперечного сечения балки, сравнивают его

с требуемым и, если есть в этом необходимость, выбирают размеры корректируют.

2.4. Соединение и пересечение балок набора в узлах

Проектирование конструктивных узлов корпуса судна из отдельных элементов обычно производится с использованием накопленного опыта и с применением расчетных приемов проектирования. В этом отношении, как уже было показано выше, большую роль играют натурные эксперименты и систематизация данных опыта эксплуатации в особо тяжелых условиях плаванья.

Под конструктивными узлами подразумевают участки судного корпуса в районе пересечений или соединения балок набора, включающие листы наружной обшивки и палубных кистлей, а также соединительные элементы, обеспечивающие передачу сил и моментов.

Узлы перекрытий могут быть разделены на узлы соединения, которые имеют балки, расположенные в одной плоскости, и узлы пересечения — узлы с балками, лежащими в разных, чаще всего взаимно перпендикулярных, плоскостях. За плоскость балки принимают плоскость ее стенки.

Проектирование типовых узлов должно вестись в соответствии с требованиями Правил Регистра СССР и Правил конструирования корпусов, а также отраслевых и государственных стандартов. В дополнение к перечисленным документам при проектировании узлов могут быть использованы отраслевые рабочие альбомы.

Там, где это экономически целесообразно, в качестве типовых сборочных единиц следует вводить соединительные модуль-узлы, которые могут применяться в проектах судов различных конструктивных типов. Такие узлы должны изготавливаться как отдельные части конструкции (см. п. 11.1). Узлы прохода набора через непроницаемые конструкции надо выполнять с установкой накладных плашек.

За основной показатель надежности узла пересечения принимают критерий устойчивости долговечности. При этом эффективный коэффициент концентрации напряжений σ_e , определяет по результатам испытаний полупластичных конструкций.

При проектировании корпусных конструкций необходимо стремиться к созданию узлов с минимальной массой с целью получения минимальной массы всего корпуса.

2.5. Типовые конструкции узлов соединений и пересечений балок набора перекрытий

На рис. 13 показан блок конструкций корпуса судна из нескольких соединений между собой перекрытий с целым рядом балок набора, пересечений этих балок между собой, креплений балок по их концам и присоединений балок одним перекрытием к балкам других перекрытий.

*Методика выбора размеров предложена Г. В. Вейсманом.

**Справочник по строительной механике корабля В 3 т. / Под ред. А. А. Шварца. Л.: Судостроитель, 1960. Т. 3.

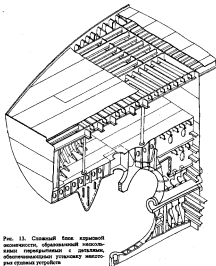


Рис. 13. Соединяющий блок главной осевого балки, образованный несколькими перекрестными с деталями, обеспечивающими установку жесткости судна устройства.

Подобные узлы конструкций можно встретить на судах любого назначения и любого конструктивного типа. В этом можно убедиться, обратившись к конструкциям отдельных перекрытий различных судов, которые показаны ниже.

Для упрощения изготовления отдельных конструкций узлов сечения ЦВНТС совместно с СПМТУ и ЦВНИ им. акад. А. Н. Крылова разработаны Методические указания, где приведены типовые узлы соединений и пересечений балок набора, которые должны употребляться при формировании конструкций отдельных перекрытий судового корпуса.

В табл. 6 и 7 показаны типовые конструкции узлов соединений отдельных балок и узлов их пересечений, применяемые обычно во всех перекрытиях судового корпуса.

В зависимости от интенсивности загрузки поперечными нагрузками принимают несколько разновидностей узлов пересечений. Типовые узлы пересечения разбиты на группы в зависимости от значений поперечных нагрузок. Наиболее нагруженные узлы (группы 4) располагаются в районе палубного поля и в местах действия больших сосредоточенных местных нагрузок.

При использовании типовых конструкций узлов пересечений балок главного направления с перекрестными (более высокими) связями перекрестий необходимо ставить последние с целью обеспечения их устойчивости подкреплять вертикальными ребрами жесткости (см. рис. 227). Наименные формы и сечения связей конструкций должны быть плавающими, а вырезы — обязательно иметь скругленные углы и крошки без надрезов.

Таблица 6. Типовые конструкции узлов соединений балок перекрытий

Группа	Тип соединения			Объемный коэффициент соединения конструкций α_0
	1	2	3	
1				3,0
2				2,0
3				1,6

Таблица 2. Типовые конструкции узлов переменной балки набора

Группа	Варианты переделки				Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ	Условие применения типовых вариантов нагружен
	1	2	3	4		
1					1,0	Категория I
2					2,2	Категория II
3					1,8	Категория III
4					-	Категория III

В стенах рамного набора разрешается делать вырезы с целью облегчения конструкций и вырезы для прохода балок другого назначения, однако в одном поперечном сечении суммарная высота вырезов не должна быть больше 0,4 высоты балки. Исключение составляют флюры, бимсы и рамы водонепроницаемых переборок. В продольных балках палубы и днища в тех районах, где наблюдаются сильные вибрация конструкций, и в средней части судна рекомендуется делать вырезы эллиптической формы.

Как уже отмечалось, достоверные данные о работоспособности отдельных узлов корпуса можно получить только в результате наблюдений за многолетней эксплуатацией судов в наиболее тяжелых условиях и на основе сравнительных исследований работоспособности узлов различных вариантов. В качестве критерия работоспособности принимается эффективный коэффициент концентрации напряжений σ_e , имеющий разные значения для различных узлов (см. табл. 21 и 22). Этот коэффициент является показателем снижения предела усталости испытываемой конструкции $\sigma_e(N)$ по сравнению с минимальным значением предела усталости материала $\sigma(N)$ с учетом наиболее неблагоприятного сочетания технологических особенностей, вызывающих местные концентрации напряжений (надрезов, термических влияний, сварных швов, напряжений и т. п.). Таким образом, критерий оценки работоспособности конструкции при числе циклов N можно записать в виде [82] $\sigma_e = \sigma(N)/\sigma_e(N)$. Эффективный коэффициент концентрации оценивает влияние формы узла и особенностей технологии его изготовления на долговечность узла. Основой для определения этого коэффициента являются результаты испытаний натурных узлов, изготовленных с использованием принятых в судостроении технологических приемов [35].

Как видно из табл. 6 и 7, для слабо нагруженных районов корпуса используются более технологичные узлы, обладающие высокими эффективными коэффициентами концентрации. Для районов корпуса, испытывающих большие усилия, применяют узлы менее технологичные, но более работоспособные. Проклады продольных ребер через поперечные листовые связи могут быть оформлены без соединения стенок балок набора разных направлений при свободном проходе ребер через вырез (табл. 6, группа 1) либо с соединением при помощи накладок (табл. 7, группы 2, 3 и 4). Технологичность проходов группы 1 выше, чем технологичность проходов остальных групп, но их работоспособность ниже ($\sigma_e = 3,0$), а работоспособность проходов группы 2 и 3 более высокая ($\sigma_e = 2,2$ и $\sigma_e = 1,8$ для проходов групп 2 и 3 соответственно).

Широкое распространение при конструировании узлов судового корпуса получили Правила конструирования корпусов транспортных судов. При их разработке, основанной на принципиально новых научных достижениях, устанавливались закономерности между оформлением узлов корпуса и их напряженностью. Это позволило рекомендовать ряд оптимальных вариантов узлов с учетом требований усталости при максимальном уменьшении напряжений.

В последние годы интенсивное развитие механики разрушений позволило уточнить некоторые закономерности усталостного разрушения.

Несмотря на то что механика разрушений позволяет пояснить полученные экспериментальные результаты, с ее помощью невозможно предсказать поведение конструкций, и расчетные методы являются пока лишь вспомогательными меритными при проектировании узлов судового корпуса, а основную роль продолжает играть экспериментальные методы, широко используемые при составлении Правил Регистра СССР, в которых для большинства корпусных узлов даются конкретные рекомендации по форме и размерам вырезов и по необходимым подкреплениям узлов для судов различных типов. Хотя О. М. Пальм с полным основанием предупреждает о чрезмерного преувеличения роли усталости при решении корпусных задач проектирования узлов корпуса [100], при проектировании судов новых конструктивных типов все же необходимо прибегать к расчетным методам для поиска исходных решений, которые должны проходить экспериментальную проверку на натурных или полнатурных узлах.

Для расчетных оценок долговечности узлов необходимо в будущем создать надежные модели распространения трещин, появление которых всегда возможно из-за несовершенства материала, возникновения неоднородного поля напряжений при объемном напряженном состоянии конструкций узлов, из-за действия в ограниченных районах растяжных и сварочных остаточных напряжений. При этом трещина, возникшая в узле, должна рассматриваться как неизбежное следствие возможного дефекта конструкции и ее материала.

Если материал конструкции способен сопротивляться распространению трещин, то установленная прочность узлов обычно малоустойчива к местным концентрациям напряжений. К таким выводам приходят экспериментаторы при определении эффективных коэффициентов концентрации, которые для разных узлов отличаются незначительно, несмотря на большое различие их формы и значений местной концентрации [35, §3]. Тем не менее влияние на долговечность принятой формы узла и технологии его изготовления учитывается назначением эффективных коэффициентов концентрации.

Необходимо отметить, что значения эффективного коэффициента концентрации узла зависят не только от его формы и технологии изготовления, но и от $\sigma_{\text{в}}$ материала конструкций (рис. 14). Использование низколегированной стали вместо обычной углеродистой вызывает уменьшение эффективного коэффициента концентрации на 10–15 %.

Как уже отмечалось, узлы соединений и пересечений отдельных балок до сих пор остаются конструктивными, работоспособность которых не всегда легко обеспечить. Решение проблемы повышения работоспособности узлов соединений и пересечений балок невозможно без установления факторов, определяющих надежность и качество узлов, и без систематизации этих факторов при проектировании. Такими факторами являются рациональное конструирование, прогрессивная технология и правильная эксплуатация. При рациональном конструировании узлов последний фактор играет второстепенную роль, однако может заметно повлиять на работоспособность узла. Данному вопросу посвящены исследования В. Н. Кутсова, которые используются в новых нормативных документах по проектированию узлов корпуса и в том числе в Правилах Регистра СССР.

Действующие Правила и Нормы дают возможность спроектировать надежную конструкцию, если они дополняются положениями по

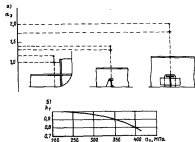


Рис. 14. Значения K_e для трех типов узлов (a) и изменения показателя K_e при распространении трещины, связанной с ростом предела текучести стали $\sigma_{0.2}$

• значения K_e для узлов из стали 16T2; — значения K_e для узлов из стали 15K001

конструктивному использованию узлов. Однако при проектировании узлов и, прежде всего, включение в них различных трудно рассчитываемых деталей с концентраторами напряжений приводит к резкому снижению прочности всей конструкции [150]. Данные эксперименты свидетельствуют, что нарушения прочности конструкций в виде трещин и остаточных деформаций появляются не как результат недостаточной общей прочности, а как следствие недостаточной местной прочности дефектных узлов и несоответствия качества материала условиям эксплуатации.

Клиновые соединения являются соединениями, без которых не могли обходиться в древнем и классическом судостроении и которые обеспечивают сохранение непрерывности балок (рис. 15). В случае использования для соединения конструкций сварки клиновые соединения часто заменяют бесклновыми, однако клины продолжают играть роль соединительного элемента (рис. 16), а также служат для закрепления концов балок с целью уменьшения их поперечных сечений в пролете. С помощью длинных фигурных переходных клин зажимают стенки надстроек (рис. 17) во избежание резкого изменения поперечных сечений корпуса-балки.

Правда свободной кромки клина (рис. 18) находят по формуле $s = \pi \sqrt{M/(B \cdot 15)}$, где π — коэффициент, определенный Правилами Регистра СССР; M — момент сопротивления балки набора, определяемый

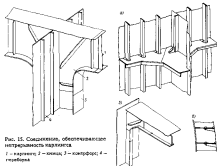


Рис. 15. Сопряжение, обеспечивающее непрерывность набора.

1 — карлинг; 2 — киш; 3 — конфор; 4 — переборка

Рис. 16. Соединение бортового стрелера с шпангоутом потречной гофрированной переборки (а), рамного шпангоута с рамным брызгом (б) и рамного шпангоута с продольным ребром (в)

Правилами; t — толщина киша, которая берется равной толщине стенки рассматриваемой балки. Приведенную формулу не применяют для расчета размеров скрутовой киши. Высота киши h должна быть не менее 0,7с. При $s > 43$ на кише необходимо делать фланец шириной с/3, но не менее 50 мм.

Соединение отдельных балок рамного набора рекомендуется выполнять скрученными кишами с плавным изменением высоты стенок и размеров пояса (рис. 19). Высота и ширина этих киш должны быть не меньше высоты стенок рамной балки и должны иметь фланец или приваренный пояс. На больших кишах необходимо параллельно кишке устанавливать дополнительные ребра жесткости [111].

В последнее время в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова разработаны общие принципы бесконечных соединений, которые в некоторых случаях обладают более высокой работоспособностью, чем кишные соединения. Применение бесконечных соединений позволит лучше использовать грузопотенциал. На рис. 20 показано бесконечное соединение двойных бортов танкера ледового плавания со вторым дном. Отдельные примеры использования бесконечных соединений будут рассмотрены ниже.

Для большей части судов с целью уменьшения массы конструкций целесообразно многие балки набора по концам закреплять кишами.

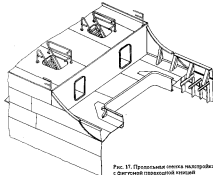


Рис. 17. Пролонгация кишки настроянки с фигурной поперечной кишкой

Балки, закрепленные кишами, позволяют получить экономно массы по сравнению со свободно опираемыми по концам балками. Балки, закрепленные по концам, обладают большим запасом прочности при работе в упругопластической области, что особенно важно для транспортных судов, плавающих во льдах, эксплуатация которых всегда сопровождается остаточными деформациями конструкций. Методы предельных нагрузок, учитывающие условия работы конструкций таких судов при развитых пластических деформациях, позволяют

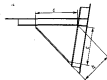


Рис. 18. Размеры кишки

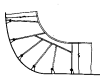


Рис. 19. Скрученная кишка

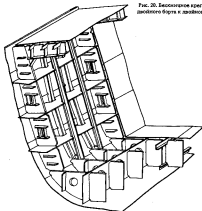


Рис. 20. Високоное крепление двойного бруса к двойному дну

более точно описать действительное поведение конструкций в работе, чем расчетные методы, основанные на теории работы конструкций в упругой стадии.

Конструкция крепления концов балок к их опорам должна обеспечивать достаточную прочность и гарантировать возможность восприятия балкой такой предельной нагрузки, которую могут допустить поперечные сечения балки и ее опорные конструкции. Кроме того, крепление концов балок набора должно надежно передавать на опоры переизгибающие силы. Однако сами концы по концам могут образовывать зоны с повышенными напряжениями, а образ балок без выполнения необходимых конструктивных мер может вызвать появление трещин и привести к серьезным авариям.

Для того чтобы изучить принципы конструирования набора, его пересечений и проходов через продольные и поперечные переборки, необходимо рассмотреть работу балок набора отдельных переборок судового корпуса, принципы проектирования которых значительно различаются из-за разных условий их работы и разных функций, выполняемых этими переборками.

Контрольные вопросы

1. Какие характерные профили балок и составные профили используются в судостроении?
2. Какие вы знаете прокатные и составные профили?
3. Опишите методы соединения отдельных балок в перекрытиях и конструкции в местах пересечения балок разных направлений.
4. Что такое альбомы типовых конструкций?
5. Что дает использование типовых конструкций и узлов переборок балок набора перекрытий?

Глава 3. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ДИМЕРНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

3.1. Конструкции димера и нагрузки, действующие на них

Конструктивные особенности димерных перекрытий. Димерные перекрытия судов, замыкающие корпус судна снизу, представляют собой конструкции, образованные из листов наружной обшивки и поперечные балками продольного и поперечного наборов. В зависимости от принятой системы набора, которая устанавливается с учетом действующих на димере внешних нагрузок, конструкции димерных перекрытий могут значительно различаться.

Димерные перекрытия в большинстве случаев являются объемными конструкциями, сгруппированными снизу димером, а сверху настилом второго дна (см. рис. 39). В междудимерном пространстве образуются водонепроницаемые объемы высотой обычно около 1 м и более. На некоторых специальных судах, например на крупных рудовозах, второе дно в средней части между продольными переборками может возвышаться до 6 м над димером судна, однако на большинстве судов эта высота много меньше.

Димерное перекрытие кроме димерной обшивки и листов настила второго дна включает поперечные флоры, продольные листовые связи димерных стрингеров в виде вертикального кила, идущего на всей высоте двойного дна, а при продольной системе набора — продольные ребра жесткости. Наружная обшивка димера с продольным набором образует нижний поясок эквивалентного бруса.

Димерные перекрытия подразделяют на стандартные и нестандартные в зависимости от конструктивных особенностей и действующих на них нагрузок.

Стандартные перекрытия — это прямоугольные симметричные относительно как продольной, так и поперечной осей перекрытия, нагруженные равномерно распределенной нагрузкой. Все балки главного направления таких перекрытий имеют одинаковую конструкцию

и закрепление концов, а перекрестные связи (балки) имеют одинаковые закрепления на опорном контуре. Как балки главного направления, так и перекрестные связи стандартных перекрытий обычно устанавливаются на одинаковом расстоянии друг от друга.

Нестандартные перекрытия в отличие от стандартных загружаются неравномерной нагрузкой, и на них могут действовать также сосредоточенные усилия. Форма их в плане также прямоугольная, однако симметричность может нарушаться установкой на перекрытиях фундаментов под главные механизмы, различных внутренних делятельных переборок и т. п.

После определения требуемого момента сопротивления поперечного сечения корпуса судна устанавливаются площади сечений диниковой и палубной частей эквивалентного бруса. Однако в дальнейшем общую площадь поперечного сечения нижнего пояса необходимо рационально распределить между листами обшивки и продольными наборами. Для этого требуется обеспечить устойчивость листов обшивки при сжатии, жесткость конструкции двойного дна и запас на коррозию. При этом необходимо одновременно решить вопросы местной прочности диникового перекрытия, представляющего одно целое с вторым дном.

Теоретически можно спроектировать конструкцию двойного дна, имеющего только продольный набор, но это приведет к утяжелению конструкции. Обычно же кроме продольного набора в двойном дне имеются флоры или диниковые поперечные рамы, которые служат промежуточными опорами для продольных ребер.

Двойное дно имеется на всех пассажирских и сухогрузных судах. В последние время рекомендуют делать двойное дно и на малых судах с целью предотвращения вытекания жидкого груза из грузовых танков при авариях.

Двойное дно почти всегда отсутствует в форпике и актернике (рис. 21 и 22), так как ограниченные пространства у форштевня и актерштагера создают трудности в изготовлении и осмотре этих конструкций. На судах небольшой длины (менее 61 м) двойное дно должно обязательно устраиваться от форпиковой до актерниковой переборки. Для судов длиной от 50 до 61 м двойное дно должно быть в машинном отделении и далее в нос до форпиковой переборки.

Диник в носовой части транспортных судов, не плавачных во льдах, обычно заканчивается брызгом (см. рис. 21), уменьшающим сопротивление диниковому судну.

На всех судах, даже небольшой размер, двойное дно продолжается от форпиковой до актерниковой поперечной переборки и представляет собой несколько отдельных диниковых перекрытий, разделенных по длине поперечными переборками. Эти перекрытия считаются плоскими, так как в средней части длины диник и второе дно плоские, а в районах, примыкающих к форпику и актернику, хотя и имеется некоторая кривизна, ее можно не учитывать.

Толщина листов диниковых поясов и толщина второго дна, расстояние между диниковыми стрингерами, флорами и продольными ребрами

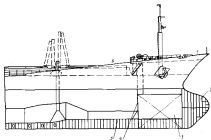


Рис. 21. Схема конструктивного оформления носовой оконечности в районе форпика. Второе дно заканчивается у форпика.

1 — брызг; 2 — брызг; 3 — диник; 4 — форпиковая переборка; 5 — второе дно; 6 — переборка между баля

должны удовлетворяться нормативными документами, например для транспортных судов Правилами Регистра СССР.

Отдельные диниковые перекрытия ограничиваются поперечными переборками и бортами. На малых судах отдельные диниковые перекрытия отделяются бортами, поперечными переборками и продольными переборками. Переборки и борта, ограничивающие диниковые перекрытия, являются их опорными контурами (см. том 1, рис. 9). Диниковые перекрытия должны обеспечивать надежное крепление к ним вертикальных переборок бортов и переборок и от этих перекрытий воспринимать часть нагрузки (см. том 1, рис. 8).

Конструкция отдельного диникового перекрытия сухогрузного судна, избранного по продольной системе набора, показана на рис. 23. На танкерах набор двойного дна ничем не отличается от набора двойного дна сухогрузных судов.

Длина диниковых перекрытий на построенных танкерах достигает 30 м, а на обычных сухогрузных судах предел тридцати, предназначенные для перевозки тяжеловозов, иногда имеют длину до 40 и ширину до 20 м.

Общие требования к диниковым перекрытиям могут быть сформулированы следующим образом:

1. Листы диниковой обшивки и балки продольного набора должны иметь достаточную общую площадь поперечного сечения для восприятия усилий от общего продольного изгиба как нижний пояс эквивалентного бруса.

2. Диниковые перекрытия должны обладать достаточными прочностью и жесткостью при действии местной равномерно распределенной

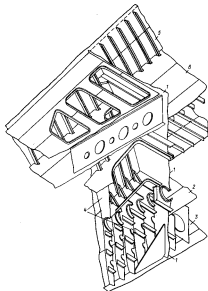


Рис. 22. Конструкция в верхней части с отклонением флорума для выхода гребного вала к винту

1 — вертикальная переборка; 2 — палуба второго дна в машинном отделении; 3 — дощатая обшивка; 4 — откидной флюг; 5 — борт судна; 6 — платформа в машинном отделении

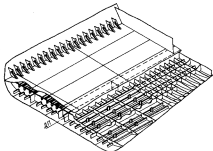


Рис. 23. Дощатое перекрытие в носовой оконечности с комбинированной системой набора

Часть перекрытия имеет продольно поперечную, а часть — только у форштевня поперечную переборку — поперечную.

Нагрузки, т. е. все пластины и балки набора перекрытия должны воспринимать без повреждений внешние нагрузки и передавать их на опорные конструкции (борта, продольные и поперечные переборки).

3. Дощатые перекрытия должны иметь продольный набор, работающий вместе с присоединяемыми поясками обшивки и обеспечивающий при общем изгибе устойчивость листов обшивки дна.

4. Дощатые перекрытия должны иметь продольные и поперечные балки набора, ограничивающие отдельные части листов — пластины — и придающие достаточную прочность пластинам при восприятии ими внешних усилий и передаче их на балки, ограничивающие эти пластины (см. том 1, рис. 8). Пластины должны обладать способностью противостоять потере устойчивости при действии в их плоскости сжимающих усилий от общего продольного изгиба, а также усилий, передаваемых на донные борты и переборки.

5. Дощатые перекрытия должны обладать способностью как целое перекрытие воспринимать сжимающие усилия без потери устойчивости, а при изгибе поперечными нагрузками сохранять свою форму. При этом все балки набора должны обладать достаточными прочностью и жесткостью, чтобы служить несущими опорами для отдельных листов.

Если имеется второе дно, то балки набора следует располагать так, чтобы можно было обеспечить доступ для осмотра, очистки, окраски,

конструкциям и ремонта конструкций внутри весьма ограниченного пространства. Размеры проходов (галей) через настил палубной набор должны быть достаточными для проникновения людей вдоль всего длинейного перекрытия от бортов до бортов и поперечных переборок, ограничивающих перекрытие. Высота двойного дна назначается по рекомендациям Правил Регистра СССР, но может быть значительно увеличена, если это лимитируется условиями перевозки грузов.

Районы расположения опорных конструкций у бортов и переборок должны проектироваться так, чтобы обеспечить надежную передачу конструкций разных, соединяемых между собой перекрытий. На сплавности узлов в районе скулы (см. рис. 38), у поперечных переборок (см. рис. 37) и у трапециевидных осер необходимо обращать особое внимание, так как из-за высокой напряженности в этих узлах могут образовываться трещины. Так, на судах типа СА-15 и аналогичных типа "Буденный" в указанных узлах появлялись многочисленные трещины.

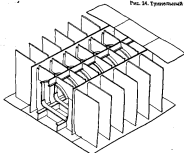
Противодавление на длинейное перекрытие многопалубных судов должно учитывать передачу части усилий от грузов, расположенных на промежуточных палубах. Эта передача, например, на железнодорожных парках и на судах с горизонтальной грузообработкой может осуществляться через мощную систему пиллерсов (см. рис. 127).

При заполнении танков двойного дна топливом или водой во избежание их разрушения в результате опрокидки на верхнюю палубу для отвода воздуха выводится труба, которая заканчивается на высоте около 1 м от палубы предохранительным устройством. Поэтому настил и набор второго дна должны рассчитываться на напор воды до верхнего конца воздушной трубки.

Наиболее ответственными элементами длинейных перекрытий являются рамные связи — флоры и длинейные стрингеры вместе с вертикальными килем и узлы крепления их к вертикальным перекрытиям, ограничивающим каждое длинейное перекрытие. Чрезвычайно наклонными узлами, которые на многих судах имели недостатки и служили причиной самых серьезных повреждений, являются узлы прохода продольных длинейных ребер через рамные балки поперечного набора — флоры (см. рис. 71) — и поперечные переборки.

На крупных судах в ДП часто устанавливают килевую балку, которую называют также туннельным, или доковым, килем (рис. 24). Ее выполняют в виде коридора от машинного отделения до форштея, обеспечивая прокладку различных магистралей, удобство ремонта и осмотра трубопровода различных судовых систем, т. е. надежность работы систем. При наличии килевой балки в случае повреждения трубопроводов груза в трюмах не портятся. Кроме того, килевая балка облегчает постановку судна в док на килевую дорожку. Стенки килевой балки судна, которое предусматривается ремонтировать в доке, ставятся в одной плоскости с рамными (доковыми) стойками поперечных переборок с целью восприятия больших срезающих усилий, передаваемых на поперечные переборки в местах, где на них опирается килевая балка.

Рис. 34. Туннельный киль в ДП



Поме наружной обшивки дна в ДП — горизонтальный киль — под вертикальным килем или под килевой балкой укладывают, увеличивая прочность этих конструкций. Иногда туннельный киль укладывают в двойном дне в стороне от ДП. В этом случае он служит дополнительной продольной связью дна, делая конструкции длинейных перекрытий судна асимметричными (см. рис. 28).

На судах без второго дна устанавливают вертикальный киль (срешний или центральный кильсон), который идет вдоль всей длины судна. Он может делаться неразрезным или разрезным на флорах. В последнем случае флоры идут от борта до борта. При длине судна более 60 м вертикальный киль с пояском делают дополнительной связью поперечных переборок и приваривают вместе с его пояском к последним. Пояски флоров располагают на одном уровне с пояском вертикального киля и приваривают к нему. Вместо поясков у флоров можно отбить фланцы, но в машинном отделении этого делать не разрешается. Пояски флоров у поясков киля следует распирать или необходимо ставить горизонтальные кильсоны. Если судно имеет расстояние от вертикального киля до борта больше 2,2 м, то необходимо параллельно ДП устанавливать дополнительно длинейные стрингеры (см.: Барабанов Н. В. Конструкция корпусов морских судов. П.: Судостроение, 1968, с. 315). Во флорах допускается делать вырезы размерами не более 0,5 высоты стенки флора в любом месте (см. там же, рис. 144). Если во флорах имеются вырезы, то их стенки должны подкрепляться вертикальными ребрами жесткости на расстоянии от вырезов не более 1100 мм.

Для размещения груза на судах без двойного дна поверх набора по подкам флорин и стрингеров устанавливают деревянный настил, который передает нагрузку на днищевой набор (см. Бороваков Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 143).

На навалочниках, перевозящих руду и металлолом в грузовых трюмах, местную прочность днищевых перекрытий требуется значительно увеличивать, поскольку они испытывают большие динамические нагрузки, возникающие при погрузке, получают деформации и изнашиваются, особенно если нагрузка проникается трейферами, осуществляющими сосредоточенные удары ковши о листы настила второго дна. Запасы на износ днищевых конструкций навалочников по сравнению с запасами на износ днищевых перекрытий других сухогрузных судов должны быть больше.

На пармах и судах с горизонтальной грузообработкой на настиле второго дна передается различная колесная техника, и на днище через колеса будут передаваться сосредоточенные усилия при перемещении груза и во время его хранения. Тяжелые грузы на колесах при транспортировке в море должны прочно закрепляться с помощью приспособлений (надрезов, стяжек, талей и т. п.), крепящихся к обухам и рымкам, привариваемым к листам второго дна, которые передают сосредоточенные интервенные усилия на днищевые конструкции.

На контейнеровозах на двойное дно передается сосредоточенные усилия от установленных друг на друга в несколько ярусов контейнеров, которые по углам имеют замки для соединения с днищем (см. том I, рис. 90 и 91) и для соединения контейнеров между собой. Каждая ячейка, ограниченная направляющими и заполненная контейнерами, находится во время качки в условиях воздействия инерционных усилий, значения которых тем больше, чем больше масса контейнеров. Инерционные усилия воспринимаются направляющими и передаются на динге, палубу и борта. С целью надежной передачи усилий на динге отдельные направляющие соединяют поперечными связями (рис. 25). Под настилом второго дна под углами стенок контейнеров набор также должен иметь местные подкрепления (рис. 26). Масса с грузом международных контейнеров длиной 12,2 м (40 футов) при расчетах принимается равной 30 т, а длиной 6,1 м (20 футов) — 20 т.

При определении давления на двойное дно рудовозов устанавливают, какой груз принят и как он распределен. Неравномерность загрузки учитывают увеличением расчетной нагрузки на 20 %. Если некоторые трюмы оставлены пустыми, то при расчете динга противодействие не учитывают. Также поступают при расчете динга пустых отсеков на танкерах. При расчете пустых отсеков за расчетную нагрузку принимают максимальное давление, когда отсек располагается в районе вершины волны.

Нагрузки, действующие на днищевые перекрытия. Перекрытия разных типов судов могут находиться под действием различных нагрузок. Перекрытия трюмов сухогрузных судов с грузом испытывают давление воды снаружи и противодействие груза изнутри, в порожних — только давление воды, соответствующее осадке судна. При

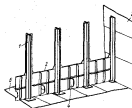


Рис. 25. Поперечные концы направляющих контейнерных стоек у настила второго дна

1 — направляющие стойки;
2 — диафрагма поперечных;
3 — второй борт; 4 — настил

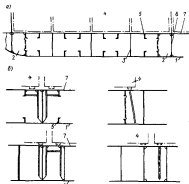


Рис. 26. Подкрепление под углами контейнеров в двойном дне: а — поперечное сечение динга контейнеровоза; б — стойки и брашеты в двойном дне под углами контейнеров

1 — динг; 2 — брашеты; 3 — двойной стрингер; 4 — контейнер; 5 — продольные ребра; 6 — вертикальный лист; 7 — второй дна

плавления на волнении давление воды возрастает из-за увеличения высоты столба воды над перекрытием до вершины волнового профиля.

Расчеты динических перекрытий обычно выполнялись в предположении, что их опорный контур абсолютно жесткий. Однако это может быть так только тогда, когда по длине размеры соседних перекрытий диника одинаковы и нагрузка по отсекам равномерна, чего часто в существующей практике эксплуатации не наблюдается. Так, у навалочников иногда нагрузка чередуется через трам, а на танкерах устраиваются танки чистого балласта, которые остаются пустыми при загрузке судна.

Согласно действующим Нормам прочности [96] расчетная нагрузка на диническое перекрытие принимается равномерно распределенной по всей площади отсека и вычисляется для условных волнений судна на вершине и подошве волны с учетом противодействия груза, перевозимого в отсеке. Расчетная нагрузка на динике для судна на вершине волны равна $P_d = \rho g T + P_g$, на подошве волны $P_d = P_g + P_g - \rho g T$, где ρg — плотность воды; T — осадка судна; P_g — волновая нагрузка; P_g — противодействие груза в отсеке.

В зависимости от типа судна проектирование конструкций динического диника ведется на фактические нагрузки, испытываемые отдельными диническими перекрытиями, расположенными в разных районах по длине корпуса. Эти нагрузки в оконечностях и в средней части диника значительно различаются.

Действительно, динические конструкции носовых оконечностей испытывают большие ударные нагрузки во время килка на волнении и максимальные давления распределяются неравномерно на сравнительно небольшой площади перекрытия, сходясь вдоль и поперек судна в зависимости от характера ударов волн и оглобления носа (см. рис. 82 и 83). Сила этих ударов зависит также от формы носовой оконечности и осадки судна носом. Чем меньше осадка, тем больше удары, а при очень малой осадке на волнении судно вообще теряет возможность двигаться.

Удары диником о воду в носовой оконечности распространяются на форштевень и на все диническое перекрытие первого от форштевня трама, а при малой осадке носом — даже на носовую часть второго трама. Ввиду большой жесткости в носовой оконечности форштевень у всех судов ударные нагрузки на динике в этом районе редко вызывают повреждения, а рекомендуемые Правилами Регистра СССР конструкции способны безопасно воспринимать все эксплуатационные нагрузки, кроме больших ледовых нагрузок.

Динические конструкции в кормовой оконечности в хвостовике тоже имеют острые образования с большой жесткостью, и прочность их так же, как в форштевне, обеспечивается при соблюдении требований правил классификационных обществ, однако в хвостовике наблюдаются большие вибрационные нагрузки, вызываемые работой гребных винтов, и особое внимание при проектировании необходимо обращать на проектирование различных вырезов и околов флоры и обшивки переборок (см. рис. 22). Вибрации, вызываемые гидродинамическими

давлениями при различных режимах работы винта, оказывает влияние на характер динамического возбуждения корпусных конструкций [95, 141]. В качестве примера можно привести большие повреждения на судах типа „Вареммаде“ конструкций кормовой оконечности, подкрепленных диническими перекрытиями в виде поперечных и продольных переборок, которые довольно часто встречаются на судах с большой частотой вращения винтов. Существенную роль в повреждениях может сыграть также резонанс механизмов при оглоблении винтов во время яхты [1].

Напряжения от изгиба динического перекрытия σ_d . Несмотря на то, что под действием общих и местных нагрузок все конструкции корпуса судна работают как одно целое, для упрощения расчетов можно был рассмотрен отдельно общий продольный изгиб корпуса и определены продольные напряжения σ_d . Для нахождения продольных напряжений в динике от изгиба перекрытия принято рассматривать отдельно диническое перекрытие.

По своей конструкции динические перекрытия могут иметь поперечную (рис. 27), продольную (рис. 28) или легчайшую систему набора. О принципах выбора систем набора динических перекрытий см. п. 3.3.

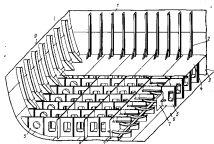


Рис. 27. Диническое перекрытие с поперечной системой набора.

1 — поперечные переборки; 2 — шпангоут переборки; 3 — продольный флор; 4 — корпус диника; 5 — флор; 6 — диник; 7 — шпангоут диника; 8 — поперечный динический флор; 9 — борт.

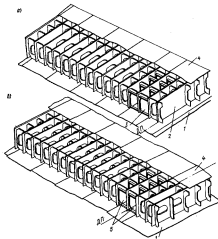


Рис. 26. Длинное перекрытие с продольной русской (стрингерной) системой набора: а — туннель сходит от ДП к борту; б — туннель расположен в ДП

1 — обшивки днища; 2 — вертикальный кил; 3 — туннель, сходящий к борту от ДП; 4 — второй кил; 5 — двойной туннель в ДП

На рис. 27 показаны границы длинного перекрытия сухогрузного судна (переборки и борта) и его конструкция, состоящая из часто расположенных флоров, туннельного кила, установленного в ДП, и двух стрингеров с каждого борта.

Число длинных стрингеров регламентируют Правила Регистра СССР в зависимости от ширины судна B и системы набора перекрытия (табл. 8).

Таблица 8. Количество длинных стрингеров, устанавливаемых на каждом борту

Ширина судна, м	Система набора	
	поперечная	продольная
$B < 15$	1	—
$15 < B \leq 18$	—	1
$18 < B \leq 25$	2	—
$25 < B \leq 30$	—	2
$B > 30$	3	3

При поперечной системе набора рекомендуется в грузовых трюмах устанавливать сплошные флоры на каждом шпангоуте, т. е. два бортовых шпангоута с разных бортов располагать в одной плоскости с каждым флором. В таком случае шпангоуты вместе с бинсом или двумя полубинсами образуют замкнутую или открытую шпангоутную рамку (расстояние между шпангоутами обычно составляет около 700–900 мм). При продольной системе набора сплошные флоры должны ставиться на каждом третьем шпангоуте.

Большое количество длинных стрингеров (перекрестных связей) предусматривают и в длинных перекрытиях с продольной системой набора, при которой сплошные флоры устанавливаются на значительно большем расстоянии, чем при поперечной системе (до 3,6 м).

Получила распространение система набора, при которой вместо продольных балок на таком же расстоянии размещают длинные стрингеры: две продольные балки обычной продольной системы набора, расположенные в одной вертикальной плоскости (одна по днищу, а вторая по второму килу), заменяют длинным стрингером с продольными вырезами в его стенке и получают как бы продольные наскребы по днищу и второму килу, разделенные этими вырезами. Эта система набора была разработана в русском военном флоте Н. Г. Бубисовым и получила широкое распространение в России и за границей под названием русской системы набора. В последние годы эта система, появившись на судах транспортного флота, стала заменяться стрингерной системой набора. На рис. 28 представлена эта система в двух вариантах, отличающихся расположением туннельных килей.

Если соседние трюмы сухогрузных судов по длине мало отличаются, а загрузка их одинакова, то при расчете длинных перекрытий длинными стрингерами считают жестко заданными на поперечных переборках. При этом принимают, что балки главного направления (флоры) при одиночных бортах свободно опираются, а при наличии двойных бортов — жестко или упруго заделаны.

При разной длине рассматриваемых трюмов или при разной их загрузке для расчета перекрытий необходимо предварительно определить коэффициент опорной пары κ , который характеризует степень

затделки перекрестных связей на поперечных переборках. Влияние соседних трюмов на работу рассчитываемого динизового перекрытия данного трюма можно учесть, проделав совместный расчет нескольких соседних динизовых перекрытий как неразрезных. При этом определяется коэффициент χ .

Рассматривая динизовые перекрытия наливных судов, можно заметить, что на всей длине судна танкеры при двух продольных переборках имеют три динизовых перекрытия (рис. 29), а при трех продольных переборках — четыре перекрытия (рис. 30) в отличие от сухогрузных судов с одним перекрытием. Размеры этих конструкций могут значительно различаться. При двойных бортах, которые получают все большее распространение на наливных судах, конструкция динизовых перекрытий значительно отличается от конструкции диниза наливных судов с одинарными бортами. Расчеты диниза танкеров усложняются из-за того, что на многих современных танкерах продольные размеры центральных и бортовых трюмов разные, и их поперечные переборки находятся не в одной плоскости.

При расчетах динизовых перекрытий, определении моментов инерции и моментов сопротивления площадей поперечных сечений вертикального кнля и динизовых стрингеров и в площади присоединенных поперечных листов динизовой обшивки и кнля второго дна включают площадь поперечного сечения продольных ребер диниза и второго дна, которые находятся на присоединенных поперечных стрингеров. Ширину этих поперечных для стрингеров определяют по Нормам прочности [%] как для рамных балок (рис. 31) по формуле $b_p = 0,5(b_1 + b_2)$. Приведенная длина пролета стрингера равна $l_p = l(1 + 0,4\chi_{\text{ср}})$. Здесь $\chi_{\text{ср}}$ — среднее значение коэффициента опорной пары для обоих концов стрингера. Коэффициент $\chi_{\text{ср}}$ находят в зависимости от числа балок другого направления n и отношения l_0/b_0 :

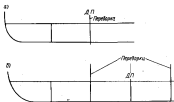


Рис. 29. Динизовое перекрытие танкеров с одной (а) и двумя (б) продольными переборками

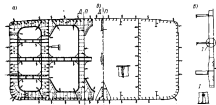


Рис. 30. Рамный овалит (а), сечение между рамками (б) и продольное сечение по динизу (в) сухогрузника с тремя продольными переборками

при $n > 6$	l_0/b_0	1	2	3	4	5	6	> 7
	$\chi_{\text{ср}}$	0,38	0,52	0,79	0,88	0,96	0,98	1,00
при $n \leq 3$	l_0/b_0	1	2	3	4	5	6	> 7
	$\chi_{\text{ср}}$	0,21	0,40	0,53	0,64	0,73	0,78	0,80

Прочность связей динизового перекрытия, испытывающего действие расчетной нагрузки, для поперечных балок оценивают по наибольшим нормальным напряжениям, для стенок балок — по средним касательным напряжениям (с учетом вырезов), для опорных сечений кнля и стрингеров, где одновременно действуют нормальные σ и касательные τ напряжения, — по приведенным напряжениям $\sigma_{\text{ср}} = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$.

Необходимо учитывать, что как при продольной, так и при поперечной системе набора обычных динизовых перекрытий балками главного направления являются флоры, а перекрестными связями — вертикальный кнль и динизовые стрингеры. При стрингерной системе набора за балки главного направления можно принимать часто стоящие настилосвязные стрингеры, а за перекрестные связи — редко стоящие поперек динизу поперечные балки (флоры).

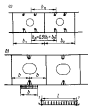


Рис. 31. К определению приведенных площадей динизового стрингера (а) и продольного ребра кнля (б)

Как уже отмечалось, у танкеров днищевые перекрытия средних танков иногда имеют длину, отличающуюся от длины перекрытий бортовых танков. Поэтому поперечные переборки отдельных танков не совпадают с поперечными переборками бортовых танков. В результате создаются своеобразные условия для работы флоров. При наличии двойного дна на танкерах условия заделки флоров отличаются от условий заделки флоров на сухогрузных судах.

Перекрытия центральных танков при двух продольных переборках могут считаться перекрытиями с одной или несколькими перекрестными связями (вертикальным килем и днищевыми стрингерами), опирающимися на поперечные переборки (рис. 32). Как видно из поперечного сечения днища танкера с двумя продольными переборками и с двойным дном, изображенного на рис. 32, б, среднее перекрытие и два бортовых перекрытия имеют продольную систему набора. Среднее днищевое перекрытие включает пять перекрестных связей и три флора (балки главного направления), устанавливаемые на расстоянии Δ , зависящим от длины танкера L следующим образом:

$L, \text{ м}$	4150	200	150	300	350
$\Delta, \text{ м}$	3,75	4	5	6	7

Продольные ребра, идущие вдоль обшивки днища и настила второго дна танкера-рудовоза (рис. 33), проходят через вырезы во флорах (рис. 34) и крепятся книжами к поперечным переборкам. Иногда продольные ребра проходят через отверстия в поперечных переборках, однако и в этом случае их присоединяют к поперечным переборкам книжками (см. рис. 33), а отверстия заделывают заглушками.

На рис. 35 показан дилтак в носовой оконечности, расположенном в носовой оконечности танкера, где настил второго дна заканчивается не сразу, а продолжается в виде фигурных поясков (фестонов), которые осуществляют постепенный переход от двойного дна к одинарному. Неплотность судна при пробоях наружной обшивки в районе дилтака обеспечивается непроницаемым настилом последнего, который выполняет роль повышенного настила второго дна.

На танкерах длиной более 200 м в средних и бортовых танках устанавливают днищевые стрингеры посередине между продольной переборкой и вертикальным килем, а также между продольной переборкой и бортом (см. рис. 32). Все эти стрингеры с высотой, равной высоте вертикального киля, совместно с вертикальными стойками поперечных переборок и усиленными подпалубными балками (карлингсами) образуют замкнутые продольные рамы, соединенные в углах книжками [45]. Стрингеры и вертикальный киль делают непрерывными между поперечными переборками.

Описанные конструкции двойного дна отличаются от конструкций двойного дна сухогрузных судов наличием продольных переборок, уменьшающих ширину днищевых перекрытий.

Устройство дилтакков в носовой оконечности для приема балласта или жидкого топлива для сухогрузных судов и танкеров одинаково. Во избежание отрицательного влияния жидкостей, заполняющих

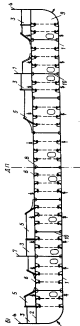


Рис. 32. Схема днища танкера (а) и поперечное сечение дилтака танкера (б) (схема днища танкера (а) и поперечное сечение дилтака танкера (б)).

1 — продольная переборка; 2 — настил второго дна; 3 — бортовая рама; 4 — борт; 5 — киль; 6 — продольная переборка; 7 — продольная переборка; 8 — вертикальная переборка; 9 — флер; 10 — продольная переборка; 11 — продольная переборка; 12 — продольная переборка; 13 — продольная переборка; 14 — продольная переборка; 15 — продольная переборка; 16 — продольная переборка; 17 — продольная переборка; 18 — продольная переборка; 19 — продольная переборка; 20 — продольная переборка; 21 — продольная переборка; 22 — продольная переборка; 23 — продольная переборка; 24 — продольная переборка; 25 — продольная переборка; 26 — продольная переборка; 27 — продольная переборка; 28 — продольная переборка; 29 — продольная переборка; 30 — продольная переборка; 31 — продольная переборка; 32 — продольная переборка; 33 — продольная переборка; 34 — продольная переборка; 35 — продольная переборка; 36 — продольная переборка; 37 — продольная переборка; 38 — продольная переборка; 39 — продольная переборка; 40 — продольная переборка; 41 — продольная переборка; 42 — продольная переборка; 43 — продольная переборка; 44 — продольная переборка; 45 — продольная переборка; 46 — продольная переборка; 47 — продольная переборка; 48 — продольная переборка; 49 — продольная переборка; 50 — продольная переборка; 51 — продольная переборка; 52 — продольная переборка; 53 — продольная переборка; 54 — продольная переборка; 55 — продольная переборка; 56 — продольная переборка; 57 — продольная переборка; 58 — продольная переборка; 59 — продольная переборка; 60 — продольная переборка; 61 — продольная переборка; 62 — продольная переборка; 63 — продольная переборка; 64 — продольная переборка; 65 — продольная переборка; 66 — продольная переборка; 67 — продольная переборка; 68 — продольная переборка; 69 — продольная переборка; 70 — продольная переборка; 71 — продольная переборка; 72 — продольная переборка; 73 — продольная переборка; 74 — продольная переборка; 75 — продольная переборка; 76 — продольная переборка; 77 — продольная переборка; 78 — продольная переборка; 79 — продольная переборка; 80 — продольная переборка; 81 — продольная переборка; 82 — продольная переборка; 83 — продольная переборка; 84 — продольная переборка; 85 — продольная переборка; 86 — продольная переборка; 87 — продольная переборка; 88 — продольная переборка; 89 — продольная переборка; 90 — продольная переборка; 91 — продольная переборка; 92 — продольная переборка; 93 — продольная переборка; 94 — продольная переборка; 95 — продольная переборка; 96 — продольная переборка; 97 — продольная переборка; 98 — продольная переборка; 99 — продольная переборка; 100 — продольная переборка.

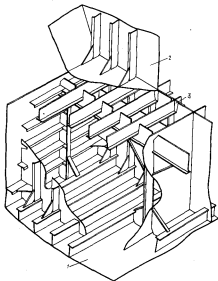


Рис. 33. Провод продольных ребер через флоры по внешней обшивке и настил второго дна танкера-румпельса

1 — дна; 2 — переборки; 3 — настил дна; в его ДП устанавливают продольную отбойную прокатную переборку с перфорированными отверстиями (см. рис. 35), ограничивающую перетекание жидкостей с борта на борт. Вообще соемы перекрытий с двойным дном для танкеров и для сухогрузных судов (в том

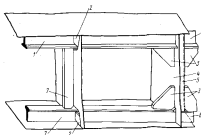


Рис. 34. Крепление продольных ребер у флоры и у поперечной переборки танкера

1 — продольное ребро второго дна; 2 — внешняя планка; 3 — килевая; 4 — водонепроницаемый фланец под поперечной переборкой; 5 — ребро жесткости водонепроницаемого флора; 6 — продольное ребро дна; 7 — ребро жесткости флора

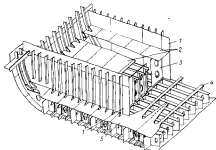


Рис. 35. Детали водонепроницаемого отделения в носовой оконечности танкера

1 — поперечная переборка дна; 2 — таулы дна; 3 — отбойная продольная переборка дна; 4 — фланец; 5 — настил второго дна

числе и для навалочников) почти не различаются, однако на навалочниках и на рудовозах, а также на комбинированных судах могут устанавливаться две продольные переборки с настилом второго дна только между этими переборками (рис. 33).

В связи с тем что днищевые перекрытия при погрузке руды и при ее выгрузке могут испытывать большие ударные нагрузки, их прочность при продольной системе набора увеличивают с помощью дополнительных стрингеров и более часто поставленных сплошных флоров (рис. 34). Подобные же дополнительные днищевые стрингеры устанавливают для восприятия усилий от перемещающейся на колесах техники на судах с горизонтальной грузообработкой и на железнодорожных парках.

На больших навалочниках и особенно на судах, перевозящих тяжелую руду, днищевые перекрытия у поперечных водонепроницаемых переборок под действием поперечных нагрузок испытывают большие изгибающие моменты и перегибающие силы. Для их восприятия поперек судна под поперечными переборками на настиле второго дна устанавливают домки (рис. 37), образующие наклонные плоскости, — трапециевидные опоры, подобные тем, которые имеются у бортов для перемещения сыпучего груза под грузовой леер для упрощения выгрузки трейферами или поперечными козловыми

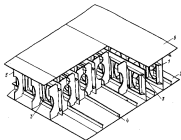


Рис. 34. Днище дна, имеющее продольную систему набора с дополнительными стрингерами и флорами

1 — днищевая обшивка; 2 — домки; 3 — трапециевидные опоры в стрингерах; 4 — продольные ребра; 5 — флор; 6 — второй дец

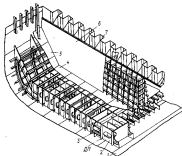


Рис. 37. Трапециевидные опоры для гофрированной поперечной переборки навалочника

1 — днищевая обшивка; 2 — туннельный киль; 3 — флор; 4 — второй дец; 5 — настил второго дна у бортов; 6 — трапециевидные опоры; 7 — гофрированная переборка

кранштейнами. Обшивку наклонных бортов у днища и домиков подкрепляют продольными и поперечным набором.

На крупнотоннажных судах вне зависимости от их назначения устраивают туннельный киль, в том числе полнотонный. На рис. 38 показаны детали туннельного киля, а также подвесного киля, который располагается рядом с вертикальным килем и по высоте состоит из двух частей.

Напряжения от изгиба продольного ребра σ_x . При продольной системе набора днищевых перекрытий (рис. 39) в состав поперечного сечения нижнего пояса корпуса кроме поперечных сечений листовых связей вертикального киля, продольных стенок туннельного киля, днищевых стрингеров входят поперечные сечения продольных ребер, которые вместе с листовыми связями обеспечивают устойчивость листов наружной обшивки и листов настила второго дна при их сжатии, а также ограничивают площадь отдельных пластин, заключенных между балками продольного и поперечного набора.

Как уже отмечалось, в продольном наборе возникает продольное напряжение от общего изгиба корпуса σ_z и от изгиба стрингера (как части присоединенного пояса) σ_x . Кроме того, в продольных балках,

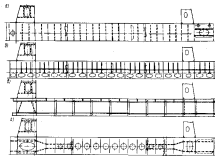


Рис. 38. Детали конструкции в двойном деке с продольными ребрами: а — вертикальный срез; б — продольный туннельный срез; в — продольное ребро; г — декинговый стрингер

загруженных поперечной нагрузкой, возникает дополнительные продольные напряжения от этой нагрузки.

Каждое продольное ребро можно рассматривать как неразрезную балку (см. рис. 39), опирающуюся на промежуточные опоры в виде балок поперечного набора (флоры). Жесткость флоры значительно превышает жесткость продольных ребер, поэтому флоры могут приниматься за жесткие опоры для продольных ребер. При симметрии предположения продольных балок между флорами и симметрии внешней нагрузки участки ребер между флорами рассчитывают как однопролетные жестко заделанные на флорах балки.

Схема для расчета декингового ребра жесткости приведена на рис. 31, б. Нагрузка Q на отдельную балку между двумя соседними флорами зависит от высоты столба воды над данным перекрытием на вершине и на поддоне волны и принимается равномерно распределенной по длине пролета. При наличии двойного дека ее рассчитывают на суммарное наружное давление: $Q_0 = q_0 a$; $Q_n = q_n b$, где Q_0 и Q_n — нагрузка и ее интенсивность на вершине волны; q_0 и q_n — те же на поддоне волны; a — расстояние между флорами; b — расстояние между продольными ребрами.

Для рассматриваемых балок изгибающие моменты в продольном ребре в сечениях на опорах равны $M_{оп} = Qa/12$, а в сечении по середине пролета $M_{пр} = Qa/24$.

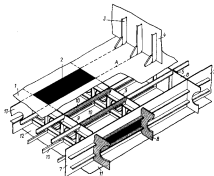


Рис. 39. Продольное сечение с продольной системой набора

1 — второй деке; 2 — пластина (панель), ограничивающая балками; 3 — стойка (нагруженный) переборки; 4 — лист поперечной переборки; 5 — водонепроницаемая перегородка; 6 — водонепроницаемая флора; 7 — срезка туннельного кита; 8 — брызгаль туннельного кита; 9 — привальный флор; 10 — продольное ребро между поперечными флорами; 11 — горизонтальный кит; 12 — декин; 13 — декинговый стрингер

При выборе необходимого профиля продольных ребер жесткости следует определить площадь присоединенного пояска и по ее значению подобрать момент инерции, минимальный момент сопротивления, приведенные площади стенок тавров. Широку присоединенного пояска принимают либо равной расстоянию между продольными ребрами жесткости, либо равной $a/6$, выбирая меньшую из этих двух величин.

В качестве расчетных напряжений декингового перекрытия принимают наибольшие напряжения в опорных поперечных сечениях продольных и поперечных балок, т. е. в отдельных точках только наиболее нагруженных ребер: в опорных сечениях у флоры и у поперечной переборки в крайней и средней плоскостях для всех сечений по присоединенному пояску обшивки и по свободному пояску продольных балок (см. рис. 41).

Напряжения от изгибов листов обшивки σ_d . Листы обшивки днища и настила второго дека (см. рис. 39) разбиваются на

отдельные пластины (панели) соседними продольными и поперечными балками набора, которые для этих пластин служат опорным контуром. Эти пластины считают жестко опирающимися по контуру. Их рассчитывают на внешнюю нагрузку — равномерное распределенное давление воды или груза. На рис. 39 такая отдельная пластина второго дна 2 и часть продольных ребер жесткости 10, являющихся опорами для двух продольных кромок пластины, заштрихованы. При продольной системе набора длинная сторона кромки пластины располагается вдоль судна, а при поперечной — поперек. На рис. 39 также заштрихована пластина тузового кила 3, опирающаяся на два соседних заштрихованных продольных ребра жесткости и два средних флора. Все пластины обшивки воспринимают равномерное давление столба воды высотой до уровня волнового профиля при возможно наибольшей осадке судна.

В качестве расчетных напряжений принимают нормальные напряжения от изгиба пластин посередине длинной стороны опорного контура [36, с. 64].

Суммирование напряжений. Нормальные продольные напряжения в пластине σ_x в отдельных точках перекрытия в сумме с напряжениями от общего изгиба σ_y от изгиба перекрытия (стрингера) σ_z и от изгиба ребра жесткости σ_4 составит полное значение суммарных напряжений, действующих в данной точке. Предположим, что надо произвести суммирование напряжений для точки А (см. рис. 39). На основе расчета эквивалентного бруса находим напряжения для дилла σ_1 в этой точке, затем, рассчитывая дилловый стрингер, определяем напряжения σ_2 (точка А располагается на присоединенном поперке, в который входит и продольное ребро). Далее вычислим напряжения σ_3 в точке А ребра вместе с присоединенным поперком и, наконец, отыскиваем напряжения σ_4 в пластине в точке А на ее опорной кромке у ребра жесткости.

Суммирование напряжений можно производить, воспользовавшись принципом независимости действия сил для разных случаев загрузки судна в любой из точек перекрытия (рис. 40), учитывая их знаки (растяжение — плюс, сжатие — минус).

Напряжения σ_1 и σ_2 распределяются на больших площадях, а σ_3 и σ_4 действуют только в отдельных точках и не могут оказать существенного влияния на общую продольную прочность корпуса. Поэтому при назначении размеров конструкций дилловых перекрытий при общем изгибе судна учитывают только напряжения σ_1 и σ_2 , а напряжения σ_3 и σ_4 используют при расчете местной прочности отдельных балок набора и пластин.

Категории связей корпуса судна. В зависимости от количества одновременно действующих в рассматриваемой связи корпуса судна компонентов продольных нормальных напряжений все связи делят на четыре категории.

Связи первой категории — это связи, в которых возникают только напряжения от общего продольного изгиба σ_1 (продольные связи верхней палубы при отсутствии на ней груза).

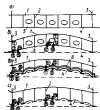


Рис. 48. Система работы связей декингового перекрытия под действием поперечной нагрузки: а — перекрытие на киле; б — килевый стрингер; в — килевый продольный ребро; г — килевый обшивки дна.

1 — второе дно; 2 — флор; 3 — поперечная переборка; 4 — обшивка дна; 5 — стрингер; 6 — продольное ребро; пояска, обозначенная цифрами в кружках, указывает на места суммирования напряжений.

К связям второй категории относят связи, в которых кроме напряжений от общего продольного изгиба σ_1 возникают напряжения σ_2 от изгибе диллового перекрытия (вертикального кила, дилловых стрингеров) и от изгиба палубного перекрытия (карлингса), если на палубе размещается груз.

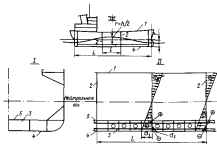


Рис. 41. Система суммирования напряжений в двух сечениях при двух компонентах напряжений

1 — общий изгиб судна; 2 — общий изгиб поперечных переборок; 3 — палуба; 4 — поперечная переборка; 5 — флор; 6 — дилла; 7 — второе дно

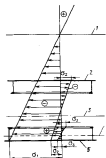


Рис. 41. Схема суммирования напряжений в продольном сечении при трех компонентах напряжений

1 — нейтральная ось судна; 2 — второе дно; 3 — нейтральная ось переборчатой палубы; 4 — нейтральная ось продольного ребра жесткости; 5 — обшивка палубы

На рис. 41 показано распределение напряжений σ_1 и σ_2 по двум поперечным сечениям трюма длиной l .

Связи третьей категории — это связи, в которых действуют продольные напряжения от общего продольного изгиба σ_1 , от изгиба днищевых перекрытий (стригера) σ_2 и от изгиба продольных ребер жесткости σ_3 под действием поперечной нагрузки. При отсутствии продольных ребер жесткости (т. е. при поперечной системе набора) к связи третьей категории относят связи, в

которых действуют одновременно σ_1 , σ_2 и σ_3 (рис. 42).

Связи четвертой категории — это пластины наружной обшивки дна, палубного настила и настила второго дна при продольной системе набора, когда в связях могут возникнуть все четыре вида продольных напряжений: σ_1 , σ_2 , σ_3 , σ_4 (рис. 43).



Рис. 43. Схема суммирования напряжений в поперечном сечении при четырех компонентах напряжений

1 — поперечная ось; 2 — нейтральная ось ребор жесткости; 3 — продольная ось обшивки палубы

А. И. Максимаджик провел подробное исследование целесообразности суммирования разных компонентов продольных напряжений в длинных перекрытиях. Он установил, что напряжения от изгиба перекрытия σ_2 для судов с двойным дном зависят от соотношения размеров его сторон L_B/B , и достигает максимума, когда это отношение находится в пределах 1,0—1,4, изменяясь при этом всего на 7%. Однако абсолютное значение σ_2 может быть достаточно большим, поэтому при определении площади сечения продольных связей напряжения σ_2 надо суммировать с напряжениями от общего продольного изгиба σ_1 . Для судов с однократным дном суммирование напряжений не требуется.

При решении вопросов, связанных с распределением площадей поперечных сечений связей между листами и набором, напряжения от изгиба продольных ребер жесткости σ_3 и от изгиба пластины σ_4 целесообразно учитывать.

3.2. Конструкция двойного дна в районе скулы

Второе дно, идущее на бортах судов от форпика до кормы, на ширине выполняется от одного борта до другого. В междудонном пространстве образуются отсеки для приема балласта и топлива.

С самого начала постройки металлических судов в течение многих лет применяли такую конструкцию длинных перекрытий, при которой второе дно у бортов заканчивается наклонным или вертикальным крайним междудонным листом, т. е. скуловым стрингером (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпрогиз, 1961, рис. 104). Скуловые стрингеры у каждого борта образуют так называемые лыла (рис. 44), в которых собирается вода при оплывании бортов, дождевая вода, проникающая через открытые люки, вода, появившаяся в результате течи через заключенные соединения и течи через фланцы трубопровода. Вода при мойке трюмов также стекает к бортам в лыла. С целью оттока воды, скапливающейся у корпусных переборок трюмов из-за того, что судно всегда имеет дифферент на корму, в сборниках колющих устанавливаются приемные

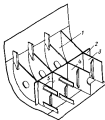


Рис. 44. Лыла у бортов судна, образованные скуловым стрингером

1 — лыло; 2 — скуловой стрингер; 3 — водостроительный флюг; 4 — сливной флюг; 5 — брызгальный флюг

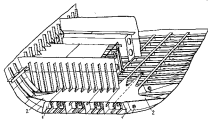


Рис. 43. Наклонный скуловой стрингер, подкрепляемый горизонтальными кно́вками с флотовым
1 — скуловой стрингер; 2 — флотом

патрубки, на концах которых крепят металлические цилиндры с отверстиями (сетки). С помощью насосов воду машинного отделения из сборных колодцев откачивают за борт (см. Барбаков Н. В., Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961, рис. 107, 108).

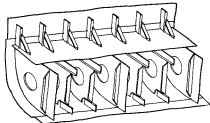


Рис. 44. Накладка второго дна, прилегающая к борту горизонтально

Также же операции по откачке воды из отсеков производят и при получении судном пробоины после временной заделки повреждений.

При образовании бортовых ялик наклонным крайним междудонным листом нижняя кромка скуловых книц опускаются до скулы, а верхние их кромки могут быть и горизонтальными, но чаще они поднимаются выше настила второго дна, загромождая внутренние помещения грузовых трюмов.

При устройстве крайнего междудонного наклонного листа оголяется значительная часть скулы, при повреждении которой вода будет поступать в трюм (рис. 45), поэтому на современных судах описанная конструкция не применяется.

Для того чтобы в ялик попадала только вода, их закрывают деревянным настилом (наклоном) из досок, укладываемых по верхней поверхности поясков скуловых книц или по заменяющим эти пояски

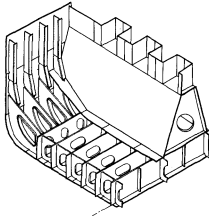


Рис. 45. Прилегающая у борта накладка второго дна навалом

фестоном. Во избежание попадания остатков груза и колоды льял принимают дополнительные меры. При перевозке, например, зерна приемные сетки обертывают несколькими слоями мешковины, чтобы зерно их не забивало. Это мероприятие обеспечило возможность во время аварии в 1958 г. на теплоходе „Генерал Панфилов“, идущем через Тихий океан с зерном, без перерыва откачивать воду, поступающую в трюм через поврежденные люковые крышки и через трещину у

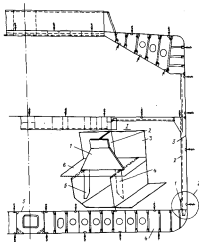


Рис. 48. Крепление пластыря к второму деку продольными скрученными канатами

1 — продольные канаты; 2 — пластырь; 3 — обшивка борта; 4 — флюг; 5 — поперечная планка; 6 — остаток второго дека

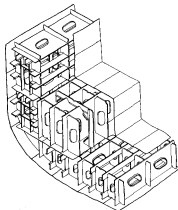


Рис. 49. Усиление двойного борта у хвостового отсека

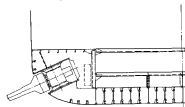


Рис. 50. Выгородка у скулы для усиления качки

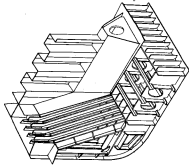


Рис. 51. Наклонная часть внутреннего борта

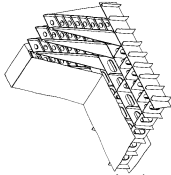


Рис. 52. Транзитная часть над поперечной перегородкой

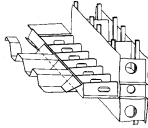


Рис. 53. Наклонные листы между перегородками внутри поперечной перегородки

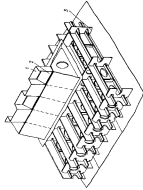


Рис. 54. Открытая транзитная конструкция (поперечный разрез)
1 — перегородка; 2 — наклонный лист; 3 — фланг

утла лжека (см. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, с. 17, рис. 11).

С началом массовой постройки сварных транспортных судов настил второго дна от борта до борта стали делать горизонтальным (рис. 46), что значительно упростило конструкцию. Горизонтальный настил, перекрывая почти полностью скулы, способствует сохранению жесткости судна и предохраняет груз при повреждении дна. Для обора воды при этом используют специальные винки-колпаки, выходящие на части высоты двойного дна, закрытые сверху листом с мелкими отверстиями (см. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1961, рис. 108). В настоящее время на большинстве судов имеется горизонтальный настил второго дна, однако часть скулы остается этим настилом не закрытой. Там, где возможно, следует настил второго дна поднимать по скуловым винкам (рис. 47). Это всегда целесообразно делать на малолесниках для осмыпания груза под пролет лека. Такой подъем двойного дна можно делать на контейнеровозах с односторонними бортами, так как контейнеры располагаются только на ширине лекавых отверстий, а бортовые подпалубные пространства остаются свободными.

На многих современных судах поперечные скуловые кницы при горизонтальном настиле второго дна заменяются продольными кницами, не мешающими размещению груза на настиле второго дна (рис. 48).

На контейнеровозах с двойными бортами передняя часть скулы перекрывается вторым бортом, и в дополнение к двойному борту в оконечностях в районе скулы делается возвышающийся уступ с целью выравнивания острых обводов для установки контейнеров (рис. 49).

На некоторых судах в районе скуловых образований с целью уменьшения качки устраивают специальные успокоители в виде выдвигавшихся на корпуса поворотных крыльев. В некоторых случаях выгородки для успокоителей совмещают с дилтниками (рис. 50).

При наличии дилтных бортов можно наклонную часть борта в районе скуловых образований доводить до первого от борта дилтного стрингера (рис. 51).

Транцевидальные опоры под поперечными подморозонными переборками обычно опирают на две или три флора, один из которых делается непроницаемым (рис. 52).

При гофрированных поперечных переборках между гофрами навешивают наклонные листы для осмыпания груза (рис. 53).

На больших танкерах с двойным дном при большой длине танков устанавливают поперечные переборки, основанием для которых служат конструкции, опирающиеся на два флора (рис. 54). Стенки опор нет необходимости делать наклонными, так как жидкий груз свободно стекает до настила второго дна.

3.3. Выбор системы набора

Длинные перекрытия в зависимости от размеров судов, их назначения и местоположения перекрытий по длине судна имеют существенные конструктивные различия, а следовательно, и системы

набора, используемые для обеспечения необходимой прочности перекрытий, значительно отличаются друг от друга.

Как было указано в п. 2.4, тома 1, существует несколько типов систем набора перекрытий. Наиболее распространенной для судов длиной до 100 м является поперечная система набора (рис. 55). Использовать такую систему целесообразно в случаях, когда длина при общем киле корпуса растянута или когда симметричные напряжения незначительны и устойчивость пластин наружной обшивки и настилов палуб и второго дна достаточна и без продольных ребер жесткости.

Обычно считается, что суда длиной более 100 м должны иметь продольную систему набора дилтных перекрытий, так как это позволяет уменьшить массу конструкций. Действительно, в принципе и на судах длиной более 100 м можно было бы обеспечить прочность при более простой и изготовлении поперечной системе набора, однако для сохранения устойчивости пластин потребовалось бы увеличивать толщину листов и уменьшать расстояние между набором, а это привело бы к утяжелению корпуса.

При проектировании системы набора дилтных перекрытий необходимо учитывать, что в средней части судна при общем киле возникает максимальные нормальные напряжения и опасность потери устойчивости пластинными в этой части значительно больше, чем в оконечностях. В то же время в оконечностях действуют большие местные динамические нагрузки при шлепанье, при ударах в развал бортов в носовой оконечности и при оголении винта. Различные характеры нагрузок, действующих в средней части и в оконечностях, требуют разного подхода к назначению системы набора дилтных перекрытий.

При выборе системы набора в средней части по длине для судов длиной более 100 м определяющим является значение симметричных напряжений при общем продольном киле. Для обеспечения устойчивости этих симметричных напряжений без потери дилтными связями устойчивости приходится по толстым листам за небольшим расстоянием друг от друга устанавливать продольные ребра жесткости, составляющие продольную систему. В оконечностях напряжения от общего киле имеют небольшую величину, и прочность дилтных перекрытий планируется местными ударами нагрузками, которые надежно выдерживают элементы поперечной системы набора.

Как правило, в форштевень и актерштевень настил второго дна отсутствует, и дилтные перекрытия леза острых образований оконечностей имеют большую кривизну, поэтому поперечная система набора как для дна, так и для бортов и палуб в оконечностях предпочтительней. Она особенно хорошо себя зарекомендовала на судах, эксплуатируемых в ледовых условиях, когда действуют значительные ударные нагрузки. Это обстоятельство очень важно потому, что точность расчетов приемов, используемых в настоящее время при проектировании конструкций оконечностей, невысока.

Сложные формы сечений в оконечностях (рис. 56) затрудняют использование обычных расчетных приемов строительной механики

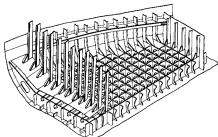


Рис. 56. Поперечная система двойного перекрытия в трюме рулевого (конец второго дна и обшивка поперечной переборки не показаны)

корабля. Форма этих сечений и последние годы претерпели существенные изменения, и в связи с этим значительно усложнились конструкции перекрытий в оконечностях.

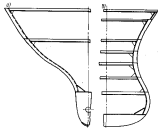


Рис. 56. Формы планшетонок в оконечности: а — в ахтерштевеле; б — в форштевеле

Конструктивная перевязка двойного дна, заканчивающегося еще до форрика в первом трюме (при остром образовании носовой оконечности), с посылками динных стрингеров осуществляется установкой фестонов (рис. 57). В этом случае груз в трюме размещают на дитанке, а дитанки используют для приема топлива, балласта, а иногда и жидкого груза. Насстил второго дна в дитанке резко не обрывается, а продолжается в виде уширенных поволок и фестонов, идущих по продольному листовому набору. Насстил дитанка по борту в соседнем трюме и в форнике целесообразно заканчивать широкими длинными горизонтальными килем, переходящими в бортовые стрингеры.

Переход продольной системы набора в поперечную может осуществляться с помощью фестонов, устанавливаемых в носовом трюме по часто поставленным динным стрингерам, которые служат продолжением продольных ребер жесткости (рис. 58). При этом поставленные на каждом шпангоуте флоры вместе с дополнительными стрингерами обеспечивают местную прочность дна при ударах о воду носовой оконечности.

Если бы в конструкции, показанной на рис. 55, число динных стрингеров уменьшить так, чтобы поперечные размеры пластины, ограниченной набором, стали больше продольных, то система набора

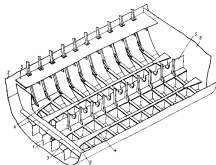


Рис. 57. Дитанки за форриком

1 — дитанка; 2 — бор; 3 — посылка дитанки; 4 — поволока переборки и фестон; 5 — обшивка переборки; 6 — поперечная переборка; 7 — второй дна

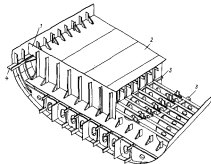


Рис. 58. Переход продольной системы в поперечную у переборки форштея.
1 — переборка форштея; 2 — диагональ в форштее; 3 — фальшборт; 4 — бортовой стрингер

рассматриваемого перекрытия превратилась бы в поперечную систему, поперечные и продольные размеры пластин которой получились бы почти одинаковыми. Полученную систему набора можно отнести к системе, которую согласно принятой в настоящее время классификации называют клетчатой.

Клетчатую систему набора используют в перекрытиях, которые испытывают действие сосредоточенных динамических нагрузок или нагрузок, распределенных на незначительной площади. К таким перекрытиям относятся:

часть днищевых перекрытий в районе, прилегающем к форштеевой переборке, обеспечивающая достаточную местную прочность при ударах волном о борт;

часть днищевых перекрытий под просветом люка навалочников при грейферной разгрузке и сбрасывании тяжелого навалочного груза на настил второго дна при погрузке;

днищевые перекрытия, по которым движется колесная техника и на которые эта техника через колеса передает нагрузки при качке в виде сосредоточенных усилий;

днищевые перекрытия в машинном отделении, где действуют большие динамические усилия, вызываемые вращением отдельных масс механической установки, а также инерционные усилия от

сосредоточенных масс при качке и особенно при разгоне работающего главного двигателя в результате сглатывания ям.

Клетчатую систему набора можно выполнить на одной части перекрытия, а другую часть строить по чисто поперечной или чисто продольной системе набора. Подобная комбинация разных систем набора в одном перекрытии создает своеобразный конструктивный вид перекрытия и специфическую передачу усилий. Систему такого перекрытия называют комбинированной системой набора.

Иногда ошибочно клетчатую и комбинированную системы набора называют смешанными системами, в то время как давно приняты термины „смешанная система набора“ (система набора Шеманского) относят к конструкции не перекрытия, а всего судна, при которой палуба и днище в средней части судна имеют продольную систему набора, а борта — поперечную (см. рис. 239).

Системы набора днищевых перекрытий по длине судна могут измениться. Однако оконечности судна почти всегда имеют поперечную систему набора. Когда для средней части судна принята продольная система набора перекрытия, а для оконечностей — поперечная или клетчатая, то переход от одной системы набора к другой должен осуществляться постепенно. Например, часть продольных связей продольной системы набора днищевых перекрытий в носовой и кормовой оконечностях, где принята поперечная система набора, должна перекрывать поперечный набор и заканчиваться на разном расстоянии от границы перекрытий с разными системами набора.

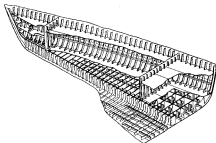


Рис. 59. Носовая оконечность пригородного транспортного судна

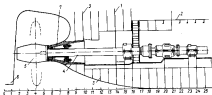


Рис. 60. Короткое узкое донное перекрытие в актергоке

1 — актериковая переборка; 2 — платформа в машинном отделении; 3 — флюг; 4 — гребной вал; 5 — ступица вала; 6 — руль; 7 — дейдвуд.

Часть перекрытия в носовой оконечности в результате продления части балок может превратиться в перекрытие с клетчатой или близкой к ней системой набора. На рис. 59 представлена конструкция носовой оконечности транспортного судна ледового плавания с усиленными ледовыми подкреплениями днища в носовой оконечности. Как видно на рисунке, продольная система днища в носовой оконечности переходит в поперечную систему, усиленную часто поставленными донными стрингерами с целью восприятия ударов льдин, уходящих под корпус при движении транспорта за подковою в тяжелых льдах. Установка таких донных стрингеров приближает поперечную систему к клетчатой. Продольная система набора заканчивается у водонепроницаемой переборки, так как основная часть продольных ребер жесткости днища и настила второго дна доходит только до этой переборки, а дальше и нос продвигается только часть продольных ребер жесткости.

В кормовой оконечности актериковая переборка ограничивает обычно короткое и узкое донное перекрытие, которое только при очень широкой транзитной корме имеет плоский участок и быстро расширяется сразу в нос от актерика (рис. 60).

3.4. Конструирование донных перекрытий в машинном отделении, в средней части корпуса по длине и в носовой оконечности

Донные перекрытия в машинном отделении. Машинное отделение судов может располагаться по середине судна по длине, может быть смещенным от миделя к корме и может устраиваться перед актериковой переборкой, когда эта переборка служит кормовой водонепроницаемой переборкой машинного отделения. Последнее (кормовое) расположение главных механизмов все чаще применяют

при постройке новых судов, так как в этом случае используется самая неудобная для размещения грузов часть объема судна. Кроме того, при кормовом расположении механизмовпадает надобность в устройстве туннеля гребного вала, занимающего много места в грузовых трюмах, и укорачивается валопровод.

При проектировании деталей конструкций донных перекрытий необходимо иметь в виду, что деформации перекрытий при разном расположении машинного отделения судна значительно различаются.

Неблагоприятными случаями для перекрытий машинного отделения при расположении его в середине судна являются два положения судна на волнении: в балласте на подошве волны, когда прогибы судна увеличиваются из-за уменьшения сил поддержания в средней части судна; с грузом на вершине волны при перегибе донного перекрытия в результате увеличения сил поддержания, действующих на средней значительно легкой отсек машинного отделения.

В последнем для десятилетия наблюдается значительное повышение мощностей главных механизмов, связанное с увеличением размеров судов и некоторым ростом скорости. Такое повышение мощностей всегда сопровождается значительным ростом упорных давлений, передаваемых через упорный подшипник на донное перекрытие в виде усилия, близкого к сосредоточенному, и, кроме того, потением импульсных давлений от лопастей винта на кормовой свес и вибрации конструкций как результата действия этих давлений.

Во время плавания на волнении из-за осеания винта происходит разное движение, в результате чего возникают опасные динамические нагрузки и последующая вибрация всей кормовой оконечности. При расположении главных механизмов в корме эта вибрация и мгновенные сотрясения представляют особую опасность для донных и других перекрытий. Динамические колебания на перекрытия машинного отделения вызывают многочисленными трещинами в различных прутьевых связях, имеющихся в этом районе.

Главные механизмы монтируют на фундаментной раме — сложной сварной или литой конструкции (рис. 61), находящейся на фундаменте, установленном на настиле второго дна донного перекрытия машинного отделения. Большая масса механизмов и трудности при определении усилий, передаваемых ими на бортовое и донное перекрытия, являются причинами создания своеобразных конструкций подкреплений с большими запасами прочности. Для уменьшения деформаций перекрытия в продольном и поперечном направлениях необходимо в двойном дне под механизмами расположить прочный и жесткий набор в виде вертикального или туннельного килей, донных стрингеров и сплошных флоров, надежно соединяемых с бортовыми актериком, также усиленным в машинном отделении.

На судах с кормовым расположением машинного отделения при ходе в балласте на вершине волны наблюдается прогиб донного перекрытия, на котором установлены главные механизмы, а при ходе с грузом на подошве волны — перегиб.

На общие прогибы донных перекрытий в машинном отделении

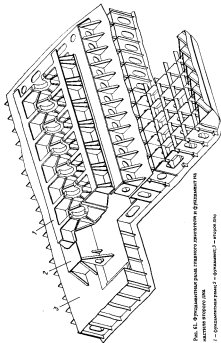


Рис. 61. Фундаментная рама главного двигателя и фундамент на машинном втором деке.
1 — фундаментная рама; 2 — фундамент; 3 — корпус днища

влияет и деформации бортовых переборок. Натурные исследования и расчеты двинкового перекрытия в кормовой оконечности на танкере длиной 300 м показали, что обвис прогибы всего перекрытия днища достигают 3 мм и могут отрицательно сказаться на работе главных механизмов [1, с. 355] и на работе наливпровода.

Уменьшение деформаций двинковых переборок и машинного отделения можно добиться балластовкой ахтерштевня, а также топливных и балластных цистерн, расположенных в машинном отделении.

Передача изгибающих усилий от двигателя на двинковое перекрытие при бортовой и килевой качке осуществляется через фундаментную раму и фундамент, установленный на втором дне и надежно перекранный с конструкциями двойного дна, обеспечивающими восприятие как поперечных, так и продольных усилий. Одновременно изгибающие усилия недействуют и на бортовые переборки, которые усиливают специальными поперечными связями (распорками), идущими от главного двигателя до борта.

При поперечной системе набора усиление набора в машинном отделении предполагает установку на каждом шпангоуте сплошных флоров и дополнительного по сравнению с трюмными количества двинковых стрингеров. При продольной системе набора флоры размещают через один шпангоут, а двинковые стрингеры — чаще (см. рис. 61).

Согласно Правилам Регистра СССР фундамент под фундаментную раму главного двигателя должен состоять из двух (четырех) продольных вертикальных листов (стенок) и верхних листов (опорных полос), предназначенных для крепления главных двигателей, смонтированных на фундаментной раме. Под продольными стенками фундамента в двойном дне обычно устанавливают стрингеры. Сами же стенки подкрепляют часто поставленными вертикальными поперечными клязами, опирающимися на поперечный набор днища (см. рис. 61). В некоторых случаях продольные стенки фундамента соединяют между собой поперечными связями с клязами.

Расположение стрингеров в машинном отделении должно быть согласовано с фундаментами. Иногда под каждой фундаментной стенкой ставят по две близко расположенных стрингера. Обязательно одна из продольных балок фундамента должна находиться в одной плоскости с двинковым стрингером. При этом вдоль второй продольной фундаментной балки на части длины машинного отделения должен быть установлен дополнительный стрингер. Необходимо так размещать двинковые стрингеры и продольные балки фундамента по двинковым переборкам, чтобы они были в одной продольной вертикальной плоскости. Иногда вместо дополнительных стрингеров допускается установка полустрингеров (описанных стрингеров), приваренных только к настилу второго дна и к флорам.

С целью упрощения переделки продольных стенок машинного фундамента и двинковых стрингеров, расположенных под ним, целесообразно в машинном отделении применять продольную стрингерную систему набора с флорами, устанавливаемыми через две шпангоута, т. е. через один бортовой шпангоут. При поперечной и продольной системах

набора в машинном отделении необходимо устанавливать дополнительные днищевые стрингеры. В этом случае система набора будет прикладываться к стрингерной, а при большом числе флоров становиться почти клетчатой (рис. 62). Такая конструкция позволяет успешно воспринимать многочисленные разнохарактерные нагрузки, действующие в машинном отделении.

Набор в машинном отделении по сравнению с другими районами по днуе судна утолщает, а при поперечной системе все флоры выполняются сплошными. Установка открытых флоров не допускается.

На некоторых судах в двойном дне делается углубление под картер двигателя, однако размеры углубления Правилами Регистра СССР ограничиваются. Во втором дне многих судов устраивают поддон для стока междудонных вод (рис. 63).

Днищевые перекрытия в средней части судна по длине. Конструктивное исполнение днищевых перекрытий в средней части судна зависит от типа судна.

На рис. 64 приведен мидель-шпангоут супертанкера с двойным дном и с двумя продольными переборками, разделяющими донце по ширине на три отдельных перекрытия. В машинном отделении супертанкера продольные переборки заканчиваются в виде высоких переборочных ялик за поперечной переборкой.

На рис. 65 показан блок супертанкера без двойного дна с двумя продольными переборками и с тремя перекрытиями по ширине судна. Если конструкцию донца этого танкера сравнить с конструкцией донца танкера, изображенной на рис. 64, то можно видеть, что по донцевому набору танкера с двойным дном в отличие от супертанкера сделан настил второго дна. В машинном отделении по длине вместо продольных переборок ставятся дополнительные мощные стрингеры. Все остальные конструкции не имеют существенных отличий от обычных.

Супертанкеры типа «Крым» (см. том I, рис. 66), построенные в нашей стране, имеют двойное дно, а крупные танкеры типа «Победа» кроме двойного дна имеют еще и двойные борта, которые в машинном отделении отсутствуют.

Масса танкеров с двойным дном и двойными бортами несколько больше, чем танкеров без двойного дна и двойных бортов. Наличие на танкерах второго дна влияет на распределение площади продольных связей по поперечному сечению. Площадь нижнего пояса эквивалентного бруса увеличивается, и нейтральная ось всего бруса опускается, что приводит к увеличению требуемого момента сопротивления верхнего пояса эквивалентного бруса. Так как танки междудонного пространства суженных танкеров с двойным дном остаются пустыми, пластины и продольные ребра днищевых перекрытий несут существенно большую нагрузку, чем пластины и продольные ребра днища у танкеров без двойного дна.

Конструкции переборок двойного дна с двойным бортом могут выполняться так, что второй борт будет доходить до донца, а двойное дно в междубортном пространстве — заканчиваться в ялик флорной (рис. 66, а) или так, что второе дно будет доходить до борта,

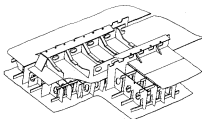


Рис. 62. Продольная система набора в машинном отделении с дополнительными днищевыми стрингерами

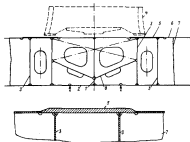


Рис. 65. Фундамент под главный двигатель с подшипниками

1 — вертикальный ялик; 2 — горизонтальный ялик; 3 — днищевый стрингер; 4 — фундаментная рама; 5 — фундаментная плита; 6 — второе дно; 7 — флор; 8 — пилон (колонна)

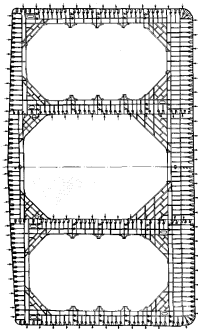


Рис. 65. Участок перекрытия сунгарника без второго дна с двумя продольными переборками (три показаны переборками по ширине)

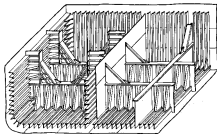


Рис. 66. Участок перекрытия сунгарника без второго дна с двумя продольными переборками (три показаны переборками по ширине) и второй борт — заканчивается в двойном дне и виде фестонов (рис. 66, б). На крупных судах двойное дно и двойной борт тянутся до листов наружной обшивки, однако в настиле двойного дна и двойных бортов делаются вырезы и бортовая шкелера заканчивается у скулы, а шкелера второго дна — у нижнего стрингера под вторым бортом (рис. 66, а).

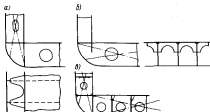


Рис. 66. Перекрытия двойного дна с двойными бортами: а — с шкелерами вторым бортом; б — с шкелерами вторым дном; в — с вторым дном и вторыми бортами, заканчивающимися до наружной обшивки

На навалочниках и нефтенавалочниках с двойными бортами настил второго дна у бортов и у поперечных переборок наклонно поднимается вверх, а днищевые стрингеры располагаются под навалом скова. Стрингеры и флоры на этих судах поставлены чаще, чем на сухогрузных судах (см. рис. 36).

В некоторых случаях, когда двойные борта не имеют скова в углах, образуемых двойным дном и двойными бортами, устанавливают кницы, однако это затруднит размещение груза в трюмах. Данная мера не высказывается необходимостью, что подтверждается опытом эксплуатации многочисленных судов, не имеющих таких книц, и которые плавают в самых тяжелых условиях без повреждений.

На судах разного назначения в трюмах устанавливают дитанки, замыкающие двойное дно. Иногда дитанки делают в дополнение к двойному дну, а результате чего образуются дополнительные объемы для воды или горючего. Верхняя платформа (палуба) дитанков не должна по длине резко обрываться, и ее листы за поперечными переборками и обе стороны дитанка должны заканчиваться фестоном, для приварки которых набор палубы дитанки продлевается на некоторое расстояние за поперечные переборки (рис. 67). В дитанке, изображенном на рис. 67, у поперечной переборки по показанию смещения разных грузов (воды и нефти, например) сделан вертикальный коффердаж — узкий непроницаемый обычно пустой отсек, разделяющий соседние помещения. Для большей безопасности при перевозке взрывоопасных грузов коффердажи заливает водой.

Перекрытия, показанные на рис. 27, как и большинство рассмотренных ныне днищевых перекрытий, характерно для крупных судов,

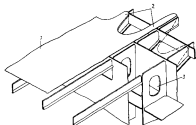


Рис. 67. Палубы дитанки и коффердажи с фестонами

1 — палуба дитанки; 2 — фестон; 3 — коффердаж

составляющих основную часть океанского флота. Судам прибрежного (каботажного) плавания, имеющим в основном длину менее 100 м, свойственна поперечная система набора всех перекрытий дна, палубы и бортов.

При поперечной системе набора в днищевых перекрытиях допускаются иметь флоры разной конструкции. Правила Регистра СССР рекомендуют в МО устанавливать на каждом шпангоуте сплошные флоры (рис. 68), а промежутке между ними в трюме разрешают ставить открытые флоры (рис. 69, а, б). При продольной системе набора сплошные флоры могут устанавливаться на каждом третьем шпангоуте (см. рис. 47).

При поперечной системе набора сплошные флоры должны ставиться на расстоянии четырех шпаций (отрез три шпангоута), но не более чем через 3,6 м. При продольной системе флоры могут устанавливаться на расстоянии 3,6 м, если используют стрингерную систему набора или если имеются вертикальные распорки (рис. 69, а), соединяющие продольные ребра дна и второго дна в пролете между флорами. Если распорок нет, то это расстояние не должно превышать 3,2 м.

На рис. 68 показаны конструкции сплошной и водонепроницаемой флоры при поперечной системе набора дна, а на рис. 69 — разные конструкции открытых флор. Открытые флоры могут быть bracketными (рис. 69, а-б) или обечайными (рис. 69, в).

Bracketные флоры состоят из верхних и нижних балок, соединяемых между собой bracketами у вертикального кила, у основных днищевых стрингеров и у крайнего междудонного листа или у крайнего листа настила второго дна. Если в промежутке между bracketами установлены распорки (см. рис. 69, а), то расстояние между bracketами пополам, то моменты сопротивления верхних и нижних балок могут быть уменьшены вдвое. Обечайные флоры, как и сплошные, делают из стальных листов с вырезами, однако размеры вырезов больше, а толщина листов флор меньше.

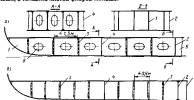


Рис. 68. Сплошная (а) и водонепроницаемая (б) флоры

1 — водонепроницаемая флор; 2 — вертикальный кил; 3 — ребро жесткости; 4 — делитель стрингера; 5 — сплошная флор; 6 — кил

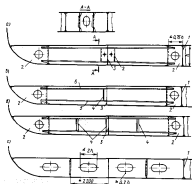


Рис. 68. Открытие флюгов: а — бракетный; б — бракетный со стойкой у стрингера; в — бракетный с промежуточными вторыми стойками; с — облучечный

1 — вертикальная стойка; 2 — бракета; 3 — дилатный стрингер; 4 — промежуточная стойка; 5 — носовая балка; 6 — кормовая балка

На сплошных продольных флюгах устанавливаются вертикальные подкрепляющие ребра жесткости на расстоянии не более чем 1,5 м (см. рис. 68, а), а на облучечных — на расстоянии не более чем 2,2 м (см. рис. 68, в). На водонепроницаемых флюгах вертикальные подкрепляющие ребра располагают на расстоянии 0,9 м (см. рис. 68, б).

При продольной системе набора вертикальные ребра по сплошным флюгам должны устанавливаться в плоскости каждой пары продольных ребер жесткости, идущих по дну и по второму дну (рис. 70). Между сплошными флюгами на каждом кланготе у борта должны помещаться бракеты, которые соединяют каждую пару (на дну и на втором дну) продольных ребер жесткости (рис. 71). Продольные ребра у поперечных водонепроницаемых переборок следует крепить попарно бракетами (см. рис. 71). Если в конструкции с продольной системой набора, изображенной на рис. 71, продольные ребра заменить попарно дилатными стрингерами, то она станет почти такой же, как конструкция, показанная на рис. 72, в том числе будут мало отличаться и

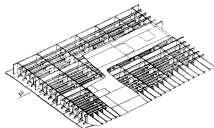


Рис. 70. Вертикальные ребра, устанавливаемые по флюгам между продольными ребрами дна и второго дна

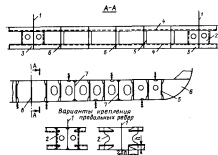


Рис. 71. Сплошной флюг и ребра, проходящие через него

1 — поперечная переборка; 2 — бракета по концам продольных ребер у переборки; 3 — промежуточный флюг; 4 — продольная раба; 5 — ребра жесткости флюга; 6 — сплошной флюг; 7 — дилатный стрингер; 8 — вертикальный киль

крепления у поперечных переборок. Для сравнения все части набора, которые есть у конструкции с продольными ребрами, показаны на рис. 72. Дополнительную массу создает только незазатрихованные участки. Однако эта дополнительная масса компенсируется уменьшением массы за счет возможности при стрингерной системе увеличить расстояние между флорами от 3,2 до 3,6 м.

Следует иметь в виду, что стрингерная система набора проще в изготовлении, чем обычная продольная система набора, так как при стрингерной системе нет необходимости делать вырезы во флорах для прохода продольных ребер, опасные в эксплуатации. Кроме того, исключается технологическая операция обработки вырезов, выполняемая для избежания надколов, и отпадает необходимость изготовления множества отдельных деталей, применяемых при обычной продольной системе набора. Таким образом, необходимо подчеркнуть, что в условиях современной технологии на всех судах с продольной системой набора желательно шире применять стрингерную (русскую) систему набора вместо обычной технологически менее рациональной продольной системы набора.

Пролет продольных ребер жесткости динца через поперечный набор и поперечные переборки является весьма ответственными конструкциями, которая на первых сварных судах служила источником появления многочисленных трещин, распространявшихся по всему поперечному сечению корпуса. Такие трещины впервые наблюдались на сварных танкерах типа Т-2 американской постройки. Одно из таких судов — танкер „Локбасс“ — во время сильного встречного волнения в 1946 г. переломилось, однако обе половины корпуса остались на плаву, и можно было видеть, что поперечная трещина проходит по районам расположения вырезов в поперечном наборе для прохода продольных балок.

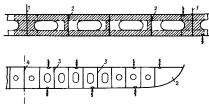


Рис. 72. Две схемы конструкций набора: а — продольная система набора с продольными ребрами жесткости; б — стрингерная система набора с поперечными ребрами жесткости

1 — поперечная переборка; 2 — флор; 3 — динцевой стрингер; 4 — вертикальный шпангоут

Большое количество исследований, которые проводились многими учеными у нас и в разных странах за границей, позволили найти удовлетворительные конструктивные решения этих узлов, однако и в настоящее время трещины в районах отверстий во флорах все еще возникают. Это обстоятельство также свидетельствует в пользу замены обычной продольной системы набора динцевых переборок со сложными узлами стрингерной системой.

Однако избежать проходов ребер жесткости через высокие листовые связи и при стрингерной системе полностью не удастся, так как при любой системе переборок, и не только динцевых, балки набора меньшей высоты пропускаются через вырезы, выполняемые в рамных связях большей высоты.

Пересекающиеся связи крепятся между собой, образуя непроницаемые или почти непроницаемые соединения. Непроницаемые соединения применяют при проходе продольных ребер через водо- и нефтепроницаемые поперечные и продольные переборки.

В местах пересечения балок разных направлений у отверстий действуют опасные реакции, которые передаются балкам большей высоты от балок меньшего размера в районе вырезов для прохода балок. Отверстия для прохода ребер выполняются на газорезательных автоматах плазменной резки или, реже, газоплазмой. Кромки вырезов обязательно должны быть гладкими, лишеными местных концентраторов в виде различных надколов.

Обычно появление повреждений в местах пересечения связей разных направлений обусловлено действием больших местных нагрузок от ударов волн и галда, а также нагрузок при швартовках на волнении. У вырезов в рамном наборе повреждения появляются в виде потери устойчивости листов и трещин у оснований вертикальных ребер, подкрепляющих стенки рамного набора в местах прохода продольных ребер.

Основными силами, создающими зоны повышенных напряжений у отверстий для прохода ребер жесткости, являются действующие на вертикальные ребра жесткости переизгибающие силы N и реакции R , вызванные переменными во времени внешними усилиями (рис. 73).

Возможны различные сочетания деформаций кромок вырезов (рис. 74). Для уменьшения опасности повреждений в местах вырезов устанавливают заделку, которая изменяет деформации кромок вырезов.

На рис. 75 показаны типы распределения напряжений по кромкам вырезов, возникающие при действии различных усилий. В последние годы было выполнено экспериментальное определение эффективных коэффициентов концентрации для многочисленных вариантов узлов пересечения балок набора с целью нахождения наиболее надежных конструкций.

На кафедре конструкции судов ДВШБ разработан приближенный метод определения напряжений на кромках вырезов сложной формы [99] и разработаны графики, которые могут оказать существенную помощь в выборе оптимальных форм вырезов и конструкций в районе пересечения балок набора [107].

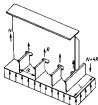


Рис. 73. Усилия, действующие у выреза во флораз

Рис. 74. Опоры направляющей по краям выреза: а — при сдвиге; б — при изгибе

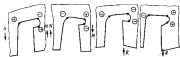


Рис. 75. Деформации у проема выреза во флораз

→ растяжение; ← сжатие

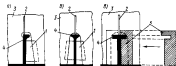


Рис. 76. Проницаемые плоские и непроницаемая заделка у выреза во флораз: а — односторонняя планка; б — планка с двух сторон; в — непроницаемая двусторонняя заделка

1 — планка; 2 — вертикальный ребро; 3 — флораз; 4 — прижимное ребро; 5 — двустороннее разделение непроницаемая заделка

Правила конструирования 1983 г. для проницаемых соединений рекомендуют планки и заделки, подкрепляемые вырезом, делать прямоугольными. Обычно они накрывают основной лист с вырезом (рис. 76, а, б), поскольку при установке планок жесткий (рис. 77) создается технологические трудности, в результате которых возможны неперевары. Непроницаемая заделка из непроницаемых переборок или флораз целесообразно выполнять анакрой для укрепления работ.

Фигурные вырезы и фигурные планки и заделки, в разное время рекомендовались Правилами Английского и Германского Lloyd's [1, рис. 100], но оправдали себя и не получили распространения из-за сложности конструкции, которая не повышает надежности рассматриваемых узлов.

Приварку заделок и планок необходимо производить очень тщательно, так как через них на стенку рамы передается основная часть нагрузки. Рабочая площадь этих соединений минимизируется.

Форма и размеры непроницаемых заделок должны быть такими, чтобы они могли перекрывать вырез, обеспечивая прочное соединение. Обычно непроницаемые заделки состоят из двух частей. При установке их накладывают сбоку по стенке рамы (флораз) с двух сторон ребра до встречи, после чего обе части сваривают между собой, обваривают по контуру и приваривают к раме (рис. 76, в).

Проклады через рамные листовые конструкции делают одинаковыми как для продольных, так и для поперечных балок. Конструкции узлов проницаемых проходов выполняют в основном в четырех вариантах (рис. 78).

Передача усилий от балок, проходящих через вырезы, на рамные конструкции может надежно осуществляться и при выполнении рекомендуемых выше узлов, однако для улучшения условий этой передачи целесообразно устанавливать вертикальные ребра с двух сторон от выреза по стенке рамной связи (например, по стенке флораз).



Рис. 77. Установка планок жестко



Рис. 78. Узлы прохода несоблюдения ребер через стенку рамы: а — с приваренной стенкой; б — с подкрепляющей планкой; в — с подкрепляющим ребром; г — со свободным прогибом ребра

Движение перекрытия в носовой оконечности. В носовой оконечности днищевые перекрытия имеют свои особенности, обусловленные необходимостью учитывать динамические нагрузки, действующие на эти перекрытия, и перемену по длине судна живучесть.

Суда ледового плавания имеют специфические ледокольные образования в районе форштевня, поскольку во время плавания этих судов по льдам волленту за ледоколом носовая часть днища испытывает удары льдин, уходящих с потоком воды от вытесняемых ледоколом под корпус впереди судна. Суда, плавающие в районах, свободных от тяжелых льдов, имеют более полные (булавообразные) образования носа, переходящие в плоское днище в первом трети от форштевня.

Удары, действующие в условиях сильного волнения на днище в носу, носят местный характер. После каждого удара возникает затухающие колебания всего корпуса.

Плавание на волнении всегда сопровождается значительным снижением скорости, причем у парусного судна это снижение значительно больше, чем у судна с полным грузом. При плавании судна в грузном состоянии на волнении интенсивность ударов в днище меньше, а нагрузка в основном действует на скуловые образования и развал борта. С увеличением осадки косям грузного судна значительно возрастают удары в развал борта и возникает деформируемость — пощипывание на палубе воды, которая при ходе порожнем практически отсутствует.

Анализируя опыт эксплуатации судов, можно прийти к заключению, что наибольшие нагрузки на носовое днищевое перекрытие вызываются ударами о воду (прежде всего при балластных переходах), ледовыми воздействиями и ударами при посадке на грунт через лед (для судов ледового плавания). Особенно опасны ледовые повреждения для порожних судов, возмещаемых после разгрузки через лед.

Требования Правил Регистра СССР, касающиеся подкрепления днищевых конструкций в носу, все еще недостаточны, несмотря на неоднократное ужесточение этих требований в последние годы. Правила Регистра СССР [111, с. 183] предусматривают усиление днища на длине не менее 0,3% от носового перпендикуляра и дают разные расчетные нагрузки для оконечностей судов при эксплуатационных и экстремальных нагрузках.

Правила классификационных обществ различных стран не дают однозначного критерия определения протяженности района подкрепления. Такой комплексный критерий склонности к сплыванию K_s разработан на кафедре конструкций судов ДВНГ и успешно используется уже много лет. Он равен $K_s = Fr / \rho T_N$. Здесь Fr — число Фруда для движения на такой воде; ρ — продольный радиус инерции массы; T_N — осадка носового судна в балласте. Связь K_s с местоположением кормовой границы необходимого района усиления выражается зависимостью $l_k = (0,08 + 0,55K_s)L$, где l_k — кормовая граница повреждения, % от длины судна L . На основании исследования кафедры установлено, что при

$K_s < 1,5$ усиления конструкций днищевых перекрытий можно не делать.

Определение внешних сил, действующих на днищевое перекрытие при ударах носом о воду. Давление на наружную обшивку днища в значительной степени зависит от скорости движения судна на волнении. При увеличении скорости давление возрастает. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что при ударах о воду повышенные давления возникают на ограниченных площадях обшивки перекрытия и возрастают по его поверхности.

Многолетние работы, выполненные М. К. Очи в бассейне Тейлора в США, позволили создать методику определения расчетных нагрузок при ударах днищем о воду. При использовании данной методики давление находит по формуле $q = kv^2 = \rho_0 k_1 v^2 / 2$, где $k_1 = \rho_0 k_1 / 2$; v — относительная скорость встречи днища с волной; ρ_0 — массовая плотность воды; k_1 — безразмерный коэффициент. Коэффициент k_1 определяют по данным мореходных испытаний. Установлено, что максимальное давление наблюдается в районе 0,1L для судов с малой скоростью и с большим коэффициентом полноты и в районе 0,2L для судов с большой скоростью и с коэффициентом общей полноты, равным 0,55–0,65.

При проектировании набора днищевых перекрытий, подвергающихся действию ударных нагрузок, особое внимание должно быть обращено на выбор формы и конструкций подкреплений вырезов в листовом наборе, так как в практике эксплуатации часто наблюдается потеря устойчивости листов в районе вырезов-пазов (рис. 79).

Процесс взаимодействия днища с водой характеризуется формой зоны нагрузки, максимальной интенсивностью нагрузки и траекторией ее перемещения, а также временем нарастания и действия импульса.

Нагрузки однократного действия характеризуются продолжительностью их действия t , формой импульса $P(t)$ и наибольшей величиной усилия P_0 (рис. 80, а). Из этих трех параметров импульсной нагрузки на реакцию системы наибольшее влияние оказывает P_0 и t . Кратковременным нагрузкам соответствуют определенные коэффициенты динамичности (рис. 80, б) [66], характеризующие скорость изменения нагрузки от 0 до P_0 .

Импульсом давления на пластину при сплывании для нагрузок, превышающих 0,3 МПа, чаще всего имеют форму треугольника, а для высоких нагрузок — форму J (см. рис. 80, а). Обычно мгновенного увеличения давления не наблюдается, и график изменения коэффициента динамичности располагается где-то между кривыми J и b (см. рис. 80, б). Другие формы импульсов (не в виде треугольника) встречаются значительно реже, однако треугольник не всегда равнобедренный, и исподпавшая ветвь кривой нагрузки иногда имеет сложную форму.

Для выполнения расчетов элементов днищевых перекрытий, находящихся под действием ударных нагрузок, необходимо знать эволюции давлений, действующих на рассматриваемые связи, и



Рис. 79. Потеря устойчивости двоякого набора в районе палубы на оппозитная „Улит-Улит“ в сечении по различным контурам: а — по 140-му; б — по 140-му; в — по 139-му; г — по 138-му; д — по 137-му; е — по 136-му

соответствующие частотные характеристики. Кратковременные нагрузки определяют по записанным на осциллограмме показаниям датчиков давления.

Экспериментальные замеры свидетельствуют об уменьшении давления (рис. 81, а) и времени нарастания давления (рис. 81, б) от второго теоретического шага к пятаку.

В течение длительного времени при определении размеров связей децла, подвергающегося ударным нагрузкам, расчетные внешние нагрузки принимались заниженными. Настоящие требования Правил Регистра СССР к прочности носовых двояких перекрытий претерпели существенные изменения в сторону ужесточения. Однако из-за сложности определения безопасной скорости до сих пор судна получают повреждение конструкций носовой оконечности.

Экспериментальное изучение реакций носовых двояких перекрытий на ударные нагрузки продолжается прежде всего из-за невозможности достаточно точно определить расчетным путем частоты собственных колебаний по причине неоднородности нагрузки по площади перекрытия, особенностей суммирования отдельных пиков нагружения, действующего при слиянии, а также неровности размещения отдельных конструкций децла в носовой оконечности, где устанавливаются дополнительные подкрепления и где системы набора на одном перекрытии изменяются, а некоторые продольные ребра жесткости децла и второго децла закладываются.

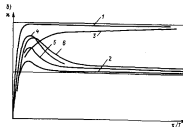
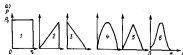


Рис. 80. Вспышечные формы контроля нагрузок (а) и изменение коэффициентов динамичности к для разных форм типа нагрузок (б)
T — период колебания; T — период собственной колебательной конструкции

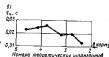


Рис. 82. Изменение интенсивности нагрузки (а) и времени нарастания давления на палубу (б)

На рис. 82 показана приближенная физическая модель возникновения больших гидродинамических усилий при ударе. Импульсное давление имеет два пика в форме колокола, перемещающиеся вдоль перекрытия. Если эти нагрузки движутся навстречу друг другу, их можно суммировать. Прототип, изображенный на рис. 82, был зафиксирован во время экспериментов в море на теплоходе „Камчатские горы“. Подобные явления наблюдаются довольно часто, поэтому их необходимо учитывать.

Согласно Нормам прочности в настоящее время за внешнюю расчетную нагрузку принимают нагрузку в виде колокола, а не равномерно распределенную, как это делал раньше.

Определение внешних нагрузок по остаточным прогибам пластин обшивки косвенными методами. В отечественной практике широко применяется прием восстановления поврежденных конструкций при проведении модернизационных мероприятий на базе анализа внешних нагрузок, определяемых по замерам остаточным деформациям листов обшивки и балок набора. Начало такого анализа было положено учеными П. Н. Матвеевым, А. К. Осмоловским, В. В. Давыдовым, Н. Ф. Ершовым, Н. А. Ивановым, Л. М. Беляшковым и В. В. Козляковым. Дальнейшие разработки, проведенные на кафедре конструкций судов ДВФУ, привели к созданию практической методики оценки нагрузок по остаточным прогибам пластин и разработке графиков для определения нагрузок по остаточным прогибам [107], получивших широкое распространение. На основании этой методики были осуществлены многочисленные мероприятия по модернизации конструкций, получивших повреждения.

Первая такая работа была выполнена на теплоходе „Ореков“ (типа „Омск“) в 1965 г. (см. второе издание учебника (1969 г.), рис. 180 и 181 и третье издание (1981 г.), рис. 153 и 154). Несмотря на то что суда набились по Правилам Английского Lloyd's и все конструкции в носовой оконечности отвечали требованиям Норм прочности Регистра СССР 1962 г., повреждения на всех восьми судах данного типа носили очень

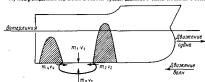


Рис. 82. Внешняя нагрузка при ударе носом о воду в форме колокола

m_1, v_1 — масса и скорость встречного судна; m_2, v_2 — то же встречной волны; p_1, p_2 — то же гидродинамическое давление; m_3, v_3 — то же волны вытеснения

серьезный характер. Для решения вопросов усиления набора были использованы работы Н. Ф. Ершова, позволявшие приближенно оценить уровень нагрузок, вызванных повреждениями, и спроектировать конструктивные подкрепления, которые до сих пор успешно работают.

В исследовательских целях для расчета прочности носовых донных перекрытий при ударах кроме нагрузки в виде колокола используют еще две формы эпюр нагрузок: конусообразную (рис. 83) и призматическую.

Теоретические исследования последних лет, проведенные В. К. Козляковым, В. А. Жибиревым, Г. В. Войновым и Н. Э. Павловым, выявили некоторые особенности пластического изгиба листов обшивки в условиях совместного деформирования со связями донных перекрытий. Получены данные о значительном снижении несущей способности пластин с продольной системой набора. Несмотря на то что работа поперечной и клетчатой систем набора перекрытий в условиях ударных нагрузок пока еще в достаточной степени не изучена, наблюдения за донными перекрытиями, подвергающимися ударам, дают основание утверждать, что несущая способность пластин с этими системами набора намного выше, чем несущая способность пластин с продольной системой. Особенно значительным преимуществом клетчатой системы набора из-за хорошего расбора, обеспечиваемого стенками листовых связей змей системы, и саморасбора пластины.

В морях Дальнего Востока много лет эксплуатируются в тяжелых условиях плавания суда с разными конструктивными особенностями донных перекрытий, подвергающихся воздействию ударных нагрузок. В экспериментальном порядке на этих судах после их повреждения выполнялись разные подкрепления [106, 107].

До сих пор еще в достаточной степени не изучено влияние повторных нагрузок на развитие остаточных прогибов конструкций. Этому вопросу в разное время уделяли внимание Н. Ф. Ершов и Л. М. Беляшский. Над созданием инженерной методики определения внешних нагрузок по замерам на судах остаточным деформациям предстоит еще много работы. Однако для оценки верхнего предела внешних нагрузок можно применять методику, изложенную в работе [107], а для получения нижней границы возможных нагрузок — использовать рекомендации Л. М. Беляшского [23].

Проведенные Н. А. Ивановым опыты с пластинами, имеющими размеры, обычные для судовых перекрытий, и высокие значения коэффициента расбора, не выявили заметного увеличения

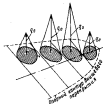


Рис. 83. Конусообразная форма нагрузки при ударе носом

остаточных прогибов у пластин при их повторном нагружении. У пластин с малым значением коэффициента распора наблюдалось небольшое увеличение остаточных прогибов, заметное только при первых трех повторных приложениях нагрузки. Возможно, что в натуральных конструкциях заметное влияние на увеличение остаточных прогибов оказывает снижение коэффициента распора пластин в результате деформаций, получаемых балками набора, ограничивающими пластину.

3.5. Принципы проектирования элементов динцевых конструкций в носовой оконечности

Выше отмечалось, что некоторыми учеными предполагается возможность влияния различной по форме местной ударной нагрузки, действующей на динцевое перекрытие. Независимо от формы расчетной нагрузки наибольшее влияние на основную динцевую набор оказывает касательные напряжения.

Особенно опасными для прочности перекрытия являются нагрузки в виде конуса, так как суммарное значение таких нагрузок, выходящих за пределы материала основного набора, в 1,5–2 раза меньше, чем значения нагрузки других форм. Равномерно распределенная нагрузка, которую раньше использовали в расчетах, вызывает большие напряжения, чем нагрузки других форм. Эти напряжения возникают в пластине у острого контура перекрытия. В случае нагрузки в виде треугольной призмы наибольшие напряжения появляются в поперечном наборе у бортов и в динцевых стрингерах вдоль границ основного набора. Притому частых повреждений сдвигового характера, возникающих у пластин флоров около вертикального киля при действии нагрузок последних двух форм, объяснить невозможно, так как при этих нагрузках в данных районах перерезывающие силы имеют максимальное значение. При действии нагрузки в форме конуса наибольшие напряжения как в продольных, так и в поперечных связях возникают во средине основания эпюры нагрузки. Смещение конуса нагрузки в сторону борта от ДН вызывает максимальные напряжения в пластине у вертикального киля и у одного из бортов. При действии нагрузок всех принятых форм наиболее напряженными конструктивными являются киль и динцевые стрингеры и менее напряженными — флоры.

Динцевые перекрытия, воспринимающие ударные нагрузки, работают в области упругих деформаций только при сравнительно небольших значениях этих нагрузок. Например, динцевое поперечное перекрытие теплохода „Орехов“ работает в области упругих деформаций при нагрузке 0,078 МПа в условиях равномерной нагрузки, 0,35 МПа в условиях призматической и 1,0 МПа в условиях конусообразной нагрузки. При этом нормальные напряжения конструкции перекрытия достигают всего 30–50 % предела текучести.

Расчеты, выполненные в ДПИ для судов кисти типа, подтверждающие

незначительное влияние изгиба и местного давления на предельную прочность пластин носовых динцевых перекрытий. Существенное влияние на несущую способность связей перекрытий оказывают килевые и бракетные, устанавливаемые в плоскости каждого бортового шпангоута, при продольной системе набора и у скулы, у динцевых стрингеров и у вертикального или туннельного киля при поперечной системе набора бортовых перекрытий. На рис. 84 показаны бракетки, расположенные снаружи туннельного киля между флорами при продольной системе, а на рис. 85 приведен чертеж одного из таких флоров с туннельным килем, имеющим бракетки на каждом шпангоуте внутри.

Предельная прочность носовых динцевых перекрытий при ударах о воду определяется способностью отдельных пластин динцевых стрингеров, вертикального и туннельного киля воспринимать возникающие касательные напряжения. Нормальные же напряжения при оценке предельного состояния основного набора можно не учитывать из-за малых их значений.

Повреждения большинства конструкций судовых носовых динцевых перекрытий, которые возникают от ударов носом, свидетельствуют о недостаточной сдвиговой прочности и о резком уменьшении перерезывающих сил на несущую способность перекрытий. Подтверждением этому может служить случай повреждения носового перекрытия на одностопных теплоходах „Орехов“ и „Ола“ от ударов носом. Замеры остаточных деформаций показали, что наибольшие деформации имели пластины флоров.

Отдельные пластины стенок основного листового набора перекрытий являются диафрагмами. Для нахождения предельной величины перерезывающей силы, которую способна воспринять пластина-диафрагма, необходимо иметь в виду, что пластина может потерять устойчивость до возникновения в ней напряжений, равных пределу текучести, и что предельная несущая способность уменьшается из-за наличия в пластине вырезов. Таким образом, пластины, воспринимающие нагрузки в своей плоскости, могут быть разделены на две категории: тонкие пластины, теряющие устойчивость при напряжениях, меньших предела текучести, и толстые пластины, для которых критическими напряжениями являются напряжения текучести.

Кроме больших вырезов в пластинках листового набора (лазов), которые необходимо, особенно в носовой оконечности, подкреплять, во флорах устраивают вырезы для прохода ребер жесткости лаза и второго лаза. Как показали исследования, такие вырезы уменьшают несущую способность пластин примерно на 10 %. Однако это значение может заметно увеличиться, если не принять меры для облагораживания формы вырезов и их подкреплений с целью уменьшения концентрации напряжений. Вырезы для прохода ребер в районе действия ударных нагрузок при сменителе рекомендуется полностью заделывать (см. рис. 76, в).

Методы расчета динцевых перекрытий должны учитывать специфическую форму ударной нагрузки, местный местный характер, и нерегулярность конструкций в районе перехода динца в флоры или дитанги.

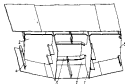


Рис. 84. Бракеты у туннельного киля
1 — стена киля; 2 — бракет; 3 — полость бракета; 4 — продольные ребра; 5 — стена флоры

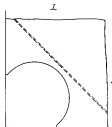
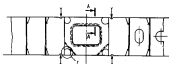


Рис. 85. Сплошной флор, чертующийся с бракетами туннельного киля

Прочность днищевых перекрытий, подвергавшихся воздействию ударных нагрузок, зависит от многих причин и прежде всего от толщины днищевых стрингеров и флоры, расстояния между флорами и днищевыми стрингерами, высоты днищного дна или дистанка и размеров зазоров-пазов и листового набора.

Туннельный киль и районе действия ударных нагрузок должен иметь конструкцию, обеспечивающую равнопрочность с соседними листовыми конструкциями днищного дна. Обнаружено, что при продольной системе набора вертикальные бракеты, устанавливаемые между флорами по стенкам киля (см. рис. 84), значительно повышают скантовую прочность башкавших к туннельному килу панелей флор.

Рациональное конструктивное оформление носовых днищевых перекрытий, воспринимающих ударные нагрузки при спелении, имеет значение, так как отсутствие контроля приборами внешних нагрузок может приводить к серьезным повреждениям. Повышения надежности перекрытий пока приходится добиваться за счет увеличения прочности его элементов на основании данных о повреждениях, полученных во время эксплуатации.

Использование результатов опыта эксплуатации судов в самых тяжелых условиях плаванья позволило выработать несколько определенных рациональных схем набора перекрытий, однако до сих пор на одно классификационное общество не дает рекомендаций по применению той или иной системы набора. Это вызвано тем, что в связи с быстрым увеличением и короткой исторической прослужкой времени скорости судов первоначальные рекомендации по конструированию, разработанные в условиях отсутствия надежных расчетных методов и недостатка данных, касавшихся точных значений действующих ударных нагрузок, не учитывали многих обстоятельств.

В последнее время установлено, что в зависимости от интенсивности нагрузок минимальную массу перекрытия можно получить при разных системах набора перекрытия: при малых нагрузках более рациональна продольная система набора, и при больших — клетчатая. Однако существует мнение о целесообразности применения поперечной системы набора. Определенную роль при выборе конструкции перекрытий в носу играют ремонтопригодность, удобство обслуживания и технологичность при постройке.

Исследования ДВНМ позволяют, используя простые зависимости [107], подбирать рациональную по массе и по технологичности систему набора. В результате этих исследований разработаны графики, с помощью которых можно выбирать конструкции днищевых перекрытий с минимальной массой, зная систему набора и расчетную нагрузку (рис. 86). С помощью этих графиков было установлено, например, что при расчетных нагрузках более 3 МПа целесообразно использовать клетчатую систему набора, а при 1,5 МПа — продольную. В случае нагрузок с промежуточными значениями флоры рекомендуется ставить на каждом шпангоуте, а положение стрингеров подбирать путем проб, добиваясь минимальной массы перекрытия.

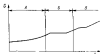


Рис. 86. График для выбора рациональной системы набора лосевых перекрытий в зависимости от величины расчетных ударных нагрузок

А — высота 1 м² перекрытия; В — высота лосевых перекрытий; А — продольная система набора; В — поперечная система набора; С — критическая система набора

При проектировании динамических перекрытий очень важно сделать выбор расположения и размеров вырезов-пазов в стенах лосевого набора. В настоящее время допускается вырезать в стенах отверстия с максимальными размерами, равными 0,4–0,5 высоты стен. Вырезы делают во всех пластинах динамических стрингеров и флоров (см. рис. 88). Следует иметь в виду, что при смещении центра конуса нагрузки по ширине перекрытия изменяется предельная прочность перекрытия вдоль флоров под действием ударных нагрузок (до 40 %).

По мере перемещения от носового переднего дуга в сторону центр доплатки смещается от ДП к бортам, располагаясь в зоне минимальной прочности набора. Путем рационального размещения вырезов-пазов можно значительно увеличить предельную прочность отдельных участков динамического перекрытия, работающего в условиях ударных нагрузок. Вырезы во флорах необходимо располагать в месте максимального расчетного давления. Если ширина динамического перекрытия меньше размера основания затора внешней расчетной ударной нагрузки, то вырезы следует размещать ближе к затору.

Вырезы в пластинах динамических стрингеров и флоров в районе действия ударных нагрузок необходимо подрезать вертикальными и горизонтальными ребрами, идущими вдоль кромок вырезов. У вырезов-пазов в пластинах лосевого набора желательно длинную по сторону ориентировать по горизонтали. Это облегчает также перемещение плавя в двойном дне.

Так как расчетные нагрузки по длине носовых перекрытий изменяются, требования к прочности отдельных элементов конструкций не одинаковы. Равнопрочности конструкций двойного дна можно добиться за счет изменения толщины стенок флоров и стрингеров, оставаясь лосевой системой набора перекрытия, за счет изменения системы набора и путем комбинирования этих двух приемов. Однако обычно меняют систему набора перекрытий.

В настоящее время при продольной системе набора флоры в носовой оконечности устанавливают через две длины при динамических стрингерах, расположенных на расстоянии 2,1 м друг от друга. При поперечной системе флоры должны стоять на каждом шпангоуте, а стрингеры — на таком же расстоянии, как при продольной системе набора. Иногда при поперечной системе набора дополнительно между стрингерами устанавливают полустрингеры (по одному с каждого борта), которые идут по диаметральной обшивке на части высоты двойного дна. При поперечной усиленной системе расстояние между динамическими

стрингерами уменьшают до 1,4 м, а полустрингеры остаются. Наконец, при клетчатой системе все расстояния сохраняют такими же, как и при поперечной усиленной системе, но полустрингеры заменяют стрингерами полной высоты. Большинство классификационных объектов устанавливают поперечную и продольную шпацию равными около 700 мм.

В последние годы в работах отечественных и иностранных ученых уделялось большое внимание процессу проектирования конструкций динамических перекрытий в районе действия ударных нагрузок. Подробно были исследованы внутренние силы, возникающие при действии динамических нагрузок. Изучено влияние расpora на работоспособность пластин в условиях динамического нагружения при работе в области упругоэластических деформаций. Однако полностью не решены вопросы накопления остаточных деформаций при повторных нагружениях. Не ясно, как влияет поврежденные участки перекрытий на прочность прилегающих конструкций при деформациях пластин вместе с набором и какой эффект в этом случае производит эксплуатационные нагрузки при многократном воздействии.

Как уже отмечалось, экспериментальные и теоретические исследования свидетельствуют о том, что повторные нагрузки на пластины и балки при наличии расpora не вызывают прогрессирующего разрушения, т. е. не ведут к накоплению деформаций. Установлено, что при многократном повторном воздействии одинаковой нагрузкой деформации не увеличиваются. Это объясняется тем, что при циклическом нагружении в первом цикле обеспечивается приспособляемость пластин и балок и в последующих циклах они работают упруго. При возрастании нагрузки увеличиваются деформации, что вызывает только рост нагрузки, а не многократным нагружением.

Для оценки внешних нагрузок по замеренным деформациям можно использовать зависимости, полученные в предположении однократного действия этих нагрузок.

Результаты анализа деформаций, полученные корпусными конструкциями во время эксплуатации, обработанные соответствующими методами, являются важным источником сведений для корректировки и усовершенствования положений Правил Регистра СССР. Внешние нагрузки, определенные по размерам и форме остаточных деформаций, позволяют при ремонте называть размеры конструкций, обеспечивающие их неповрежденность и эксплуатацию, и скорректировать требования Правил к вновь проектируемым судам.

Контрольные вопросы

1. Какова роль дна в составе корпуса?
2. Отличия нагрузок, которые действуют на динамические перекрытия, расположенные в разных местах на судах разных типов.
3. Раскажите о роли двойного дна в составе корпуса.
4. Отличия различных систем набора дна и отдаленные его конструкции.
5. Какова роль продольного и поперечного набора в динамических перекрытиях?

6. Каковы особенности конструкции декида в выделенном отделении?
7. Расположите по конструкции декида в районе переборки его продольного набора и поперечных переборок и различия поперечных связей.
8. Что такое открытые борты, каковы их конструкции и место установки?
9. Назовите принципы замкнутого толдита (линия декидовой обшивки по длине и ширине судна).
10. Из чего состоит процесс проектирования конструкций декида в районе носовой оконечности с учетом динамических нагрузок?
11. Рассмотрите процесс повреждения балки при падении на мачтостое.

Глава 4. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ПАЛУБНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

4.1. Расчетные нагрузки для палубных конструкций

Палубные конструкции, входящие в состав корпуса, обеспечивают общую продольную и местную прочность судна. Наибольшие напряжения от общего продольного изгиба и от общего кручения корпуса возникают в верхнем и нижнем поясах эквивалентного бруса, которыми являются верхняя палуба и декида. Уменьшение массы этих поясов является одним из основных резервов снижения массы судового корпуса, получаемого за счет применения расчетных методов проектирования на основе прогрессивных Норм прочности, позволяющих допускать более высокие напряжения в конструкциях и применять многочисленные новые конструктивные решения [35].

В последние годы на транспортных судах конструкции палуб претерпели существенные изменения, связанные с необходимостью обшивки широких вырезов для погрузки крупногабаритных грузов в виде палетов и контейнеров. На паромках и судах, перевозающих колесную технику, шиборот, появились закрытые верхние палубы с отсечками только для крановых пролетов вдоль обоих бортов и с мощными продольными подпалубными балками. На этих палубах применяется и перевозится колесная техника.

На судах с широким раскрытием палуб и с большими люковыми крышками перевозят грузы и контейнеры, которые располагают на верхней палубе и на люках в нескольких ярусах (см. том 1, рис. 88).

На узких палубах судов с горизонтальной грузообработкой образуются сплошные плоские площадки, расположенные между двойными бортами, обеспечивающими непотопляемость судна, и не ограниченные по длине обычными для судов старого типа часто состоящими из поперечных водонепроницаемых переборок. Вся конструкция сплошных палуб таких судов опирается на борта, поэтому для поддержки палуб вдоль судов под ними устанавливают один или два ряда пиллерсов, поддерживающих палубы. Пиллерсы опираются на мотные карлингсы (продольные подпалубные балки).

Снижения металлоемкости палубных перекрытий можно достигнуть за счет применения СПП. Используя СПП, можно добиться немало-го уменьшения массы корпуса при обеспечении не только общей продольной прочности, но и местной прочности, которая необходима для восприятия давлений и изгибных усилий от грузов, расположенных на палубах. Эти усилия передаются на корпус в виде сосредоточенных давлений по углам стенок контейнеров либо через колеса закрепленной или катящейся по палубе техники.

Отдельные узлы и секции палубных перекрытий новых конструктивных решений, связанных с изменением условий работы палубных перекрытий, должны обеспечивать надежность конструкций, которым в некоторых случаях в отличие от декидных конструкций приходится работать при очень низких температурах. Поэтому самое пристальное внимание должно уделяться вопросам конструирования связей, резко меняющих по длине свое поперечное сечение (перемычных связей), и вопросам их изготовления с целью избежать появления очагов опасной концентрации напряжений.

В верхней палубе возникает очаж повышенной напряжений из-за влияния различных надпалубных конструкций (надстроек, рубок, продольных комингсов, фальшбортов) и многочисленных вырезов. Верхняя палуба любого судна является основной осью эквивалентного бруса — верхним и наиболее напряженным его поясом. Эта палуба вместе с водонепроницаемыми люками грузовых трюмов служит в качестве водонепроницаемого закрытия корпуса сверху. Все чаще на новых судах верхнюю палубу делают без сальватости и даже без погни бисов, т. е. совершенно плоской, что упрощает постройку судна и размещение груза. Если на судне несколько палуб, то они могут быть все плоские. Обычно на судах с верхней палубой без сальватости, имеющих минимальный надводный борт (см. том 1, п. 7.2), требуется удлинить бак для обеспечения непотопляемости при затоплении двух соседних отсеков. Однако в последнее время непотопляемость достигается и без удлинения бака за счет устройства двойных бортов, поскольку длинный бак усложняет некоторые грузовые операции, например размещение леса, контейнеров и колесной техники, и целесообразно только при необходимости увеличения закрытых объемов под палубами. При удлиненном баке неудобные для грузовых операций объемы в носовой трюме в нижней части у декида следует занять дистанками для размещения балласта, а поперечные для груза объема компенсировать устройством тиндака с люком на баке (см. рис. 224).

Палубы, расположенные только на части длины судна, называют платформами. Платформы, так же как непрерывные палубы, используются для размещения груза. Воспринимаемое давление от груза, палубы и платформы должны передавать усилия на опорный контур, т. е. на борта или продольные переборки и на поперечные переборки. Платформы в машинном отделении используют для установки вспомогательных котлов, электростанций, постов управления и т. п.

Верхняя палуба и нижележащая палуба, на которых размещаются

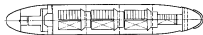


Рис. 87. Строение план судна усиленного универсального судна



Рис. 88. Строение план

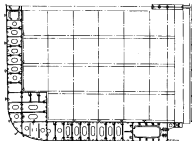


Рис. 89. Поперечное сечение контейнеризованного судна усиленного универсального судна

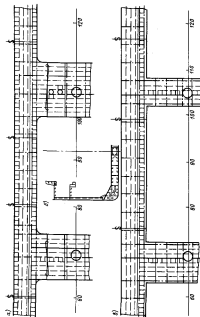


Рис. 90. Конструкция судна с широкими распорными палубами и распорными палубами: а - главный палуба; б - вторичная палуба



Рис. 91. Дополнительные ледовые нагрузки на верхнюю палубу

груз, могут частично передавать усилия через двойные борта, продольные переборки и шпильеры на нижележащие палубы и двойное дно. Однако конструкция, обеспечивающая передачу этих усилий и расположенные над палубой, не должны мешать размещению грузов в трюмах. Ледовые крышки, которые на некоторых судах занимают значительную часть площади палуб, должны обладать такой прочностью, чтобы на них можно было укладывать несколько ярусов контейнеров или пакетов леса. При широком раскрытии палуб для уменьшения массы ледовых крышек ледки делают двойными (рис. 87) и сложенными (рис. 88) и их продольные кромки опирают на мачтовые подпалубные балки и продольные переборки.

В зависимости от конструктивного типа судна могут иметь только одну верхнюю палубу (рис. 89) или несколько палуб (рис. 90), например для размещения генерального груза в легкой таре.

На контейнеровозах делают одну верхнюю палубу. В трюмах контейнеровозов контейнеры ставят друг на друга в виде стопок до ледовых крышек, после чего крышки закрывают, плотно закрывают (замкивают) и на них загружают друг на друга палубные контейнеры (см. том I, рис. 82), которые раскрепляют специальными креплениями к рамкам и обухам, приваренным на палубе. В последнее время на контейнеровозах на верхней палубе устанавливают вертикальные направляющие, образующие, как и в трюмах, ячейки для укладки и крепления контейнеров.

Если верхняя палуба имеет погребь бимсов, то эта погребь для упрощения технологии изготовления имеет вид ломаной линии: средний участок горизонтальный, а бортовые — наклонны к бортам.



Рис. 92. Обрушение пада на палубу

Чаще всего стрелка погребь бимса составляет $1/50$ ширины судна в данном поперечном сечении, однако встречается погребь бимса и со значительно меньшей стрелкой. Существует мнение, что надобности в погребь бимса вообще никакой нет. Обосновывает это мнение тем, что уже при небольшом наклоне для судна крене и отсутствии волнения наклонная часть палубы становится почти горизонтальной и сток воды при неровностях палубного настила прекращается. В случае же плавления на волнении имеет место поперечное наклонение судна, и сток воды с палубы происходит свободно, даже если она горизонтальная.

Верхняя палуба должна воспринимать дополнительные усилия, возникающие при залипании, при обмерзании, при сколке льда и его обрушениях с надстроек, рангоута и такелажей (рис. 91, 92), а также инерционные усилия от падающего груза, появляющиеся при качке. Большие усилия передаются на палубные перекрытия во время работы пневматических грузовых устройств и в результате возникновения инерционных нагрузок от высоко расположенных грузовых стрел и кранов с механизмами.

Надстройки и рубки на верхней палубе должны прочно соединяться с верхней палубой, и их набор необходимо надежно перекрывать с подпалубными конструкциями, прямое назначение части из которых — воспринимать усилия от надстроек и рубок, особенно высокие напряжения, возникающие по концам надстроек и рубок.

Верхняя палуба во время шторма подвержена динамическому воздействию воды, накатывающейся на палубу через борта и бак после зарывания судна носом во встречные волны. При этом возникают кратковременные ударные нагрузки, которые во время эксплуатации создают условия для появления в конструкциях остаточных деформаций, которые могут быть значительно меньше деформаций, возникающих при статических испытаниях конструкций под действием одиночных но величине нагрузок. Поведение конструкций при импульсных нагрузках отличается от их поведения при статическом нагружении: деформации продолжают расти и после прекращения ударного воздействия. Во время удара напряжения быстро увеличиваются и достигают максимума, но после появления максимальных напряжений не совпадают со временем появления максимальных прогибов.

Как и большинство балочных перекрытий судового корпуса, палубные перекрытия состоят из набора, подкрепляющего листы обшивки (палубный настил), и кроме общей и местной прочности обеспечивают водонепроницаемость. Балки набора палуб частично работают совместно с листами настила (присоединенными полками). Набор палубных перекрытий может располагаться по-разному в зависимости от принятой системы.

При продольной системе набора полное значение напряжений, возникающих в палубных перекрытиях, определяется так же, как для длинных перекрытий, в виде суммы напряжений от общего продольного изгиба σ_1 , от изгиба перекрытия σ_2 , от изгиба продольных ребер жесткости σ_3 и от изгиба пластин σ_4 , если на палубе есть палубный груз. Если система набора перекрытия поперечная, то последнее σ_4 отсутствует.

При общем продольном изгибе и работе привлекаются все палубы судна в результате изгиба в своей плоскости бортовых перекрытий и продольных переборок (если она есть) касательными усилиями, возникающими по линии соединения палубы с бортами. Теоретически продольные нормальные напряжения, возникающие этими касательными усилиями, должны к середине ширины судна уменьшаться, однако при расчетах продольные нормальные напряжения принимают равномерно распределенными из-за незначительных их изменений.

4.2. Типичные конструкции палубных перекрытий и их особенности

Основное влияние на конструкции палубных перекрытий оказывает конструктивный тип судна. В зависимости от наличия локовых



Рис. 33. Отварная (горлошам) палуба танкера с продольной системой набора по всей длине (два продольных переборки)

→ катаный набор в палубе (горлошам)

вырезов, надстроек и рубок, вида груза, размещаемого в трюмах и на палубах, конструкции палубных перекрытий существенно различаются. Например, наливные суда имеют одну палубу с небольшими водонепроницаемыми горловинами (рис. 33), а сухогрузные суда с вертикальной погрузкой — палубы с люками, расположенными один за другим по длине судна и закрываемыми люковыми крышками, которые с корпусом судна не составляют одно целое и в общем продольном изгибе участия не принимают (рис. 34), однако их водонепроницаемость обеспечивается так же, как и водонепроницаемость горловин на палубе наливных судов.

В последние годы появились многочисленные суда с большим раскрытием палуб (рис. 35), у которых непрерывный палубный настил сохраняется только в виде одного пояса с каждого борта (палубного стрингера). Эти пояса идут вдоль бортов. Вся остальная ширина судна занята люковыми вырезами, закрываемыми люковыми крышками, расчеты прочности которых производят на действие местных нагрузок.

Суда другого нового типа (суда с горизонтальной грузообработкой) в палубах (рис. 36) имеют только круглые вырезы для вентиляторов и

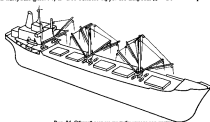


Рис. 34. Общий вид на палубу грузового судна

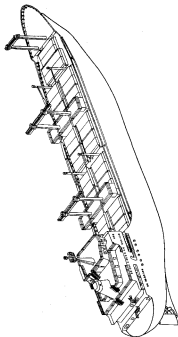


Рис. 95. Судно с старыми редевшими палуб и снованными переборками

1 — верхняя палуба, 2 — продольный килевик;
3 — стена порамора, 4 — палуба кормового

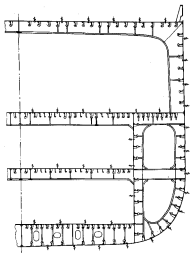


Рис. 96. Поперечное сечение наклонного предпалубного судна без палубных порамор

среднегребенные небольшие вырезы для устройства наклонных спусков (пандусов), с помощью которых перемещают грузовые места на нижние или выше расположенные грузовые палубы. На рис. 97 показана конструкция палубных перекрытий двухпалубного судна с горизонтальной грузопереработкой, имеющего редко поставленные поперечные переборки и двойные борта, восходящие до нижней палубы. Вырезы для вентиляторов и пандусов на рисунке не изображены.

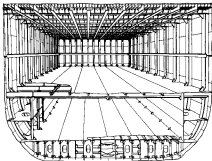


Рис. 97. Конструкция палубы катамаранного судна с верхней палубой для перевозки легкой техники

На рис. 98 приведена конструкция судна с горизонтальной грузоподъемной, имеющей двойную верхнюю палубу с клетчатой системой набора, предназначенную для перевозки тяжелой колесной техники. Такие палубные конструкции все чаще появляются на новых судах. Эти палубы предлагаются использовать и на наливных судах с двойным дном, двойными бортами и двойными переборками с целью создания безнаборных гладких грузовых танков для уменьшения коррозии и упрощения ухода [1, рис. 48].

Построено большое количество танкеров (рис. 99) и танкерорудозовозов (рис. 100), у которых весь набор палубы размещается поверх нее для уменьшения коррозии палубного набора. Такого рода конструктивное решение может быть принято и для других типов судов.

На рис. 101 показано судно с боковыми палубными вырезами, на котором с целью увеличения верхнего пояска эквивалентного бруса набор двойной верхней палубы изготовлен по стрингерной системе. В результате площадь поперечного сечения верхнего пояска эквивалентного бруса увеличена за счет карлингсов и обшивки двойной палубы. Этим компенсируется потеря площади верхней палубы из-за наличия в ней широких проемов.

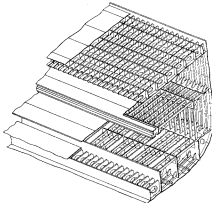


Рис. 98. Конструкция двойной палубы катамаранного судна, перевозящего тяжелую колесную технику

Для дополнительного увеличения верхнего пояска эквивалентного бруса при широких вырезах в верхней палубе можно вместо прерывающихся продольных ограждений локсов — комингсов (рис. 102) делать непрерывные ограждения (рис. 103). Непрерывные продольные комингсы при парных и тройных локсах вместе с фальшбортами могут заметно увеличить прочность судна при общем его изгибе (см. том I, п. 4.7—4.8), а также уменьшить концентрацию напряжений в углах грузовых люков (см. п. 5.1, 5.8). Они пересекают межлоксовые перемазки, образуя между поперечными комингсами колодези. Для стока воды из колодезей в комингсах необходимо делать водосток в виде небольших округленных отверстий на расстоянии не менее 700—800 мм от углов люков (см. рис. 103).

Прерывающиеся продольные комингсы резко образуют не рекомендуется, их лучше заменять переходными кингсами, доходящими

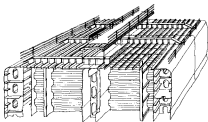


Рис. 99. Конструкция талкара с двойными бортами и с наружным набором палубы.

до первой поперечной связи палубы. Это позволяет значительно уменьшать концентрацию напряжений у углов локсов. Такие концы были установлены во время модернизации на советских судах типа „Лабера“ и хорошо себя зарекомендовали. На судах более поздней

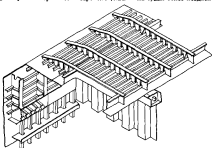


Рис. 100. Учетная палубы талкара-рудакеса с наружным набором

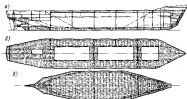


Рис. 101. Суда с широким раскрытием палубы, имеющие двойную палубу со структурной системой набора: а — продольный разрез; б — верхняя палуба; в — второе дно

постройки в этих концах делали вырезы, которые вызывали трещины в концах и их образ [166, 167].

У судов, имеющих вырезы, расположенные один за другим, между соседними одинаковыми, смежными и строеными локсами по длине имеются межлоксовые переборки, обеспечивающие местную прочность при поперечном сжатии корпуса судна и играющие существенную положительную роль при кручении корпуса во время движения корабля курсом к волнам. Чем больше размеры грузовых локсов, тем более прочными и жесткими должны быть межлоксовые переборки. На современных контейнеровозах межлоксовые переборки подкрепляют путем устройства специальных поперечных шпандаров от борта до борта коридоров, которые одновременно служат опорой для локсовых крышек (рис. 104). На рис. 104 дана конструкция надпалубного коридора, который объединяет поперечные концы смежных грузовых локсов контейнеровоза и который может использоваться в качестве цистерны для жидкостей. Одновременно на поперечной стенке коридора показаны конструкции угловой и промежуточной направляющих, образующих ячейки для контейнеров внутри трюма.

Поперечные коридоры под поперечными межлоксовыми переборками иногда соединяют с продольными подпалубными коридорами, идущими вдоль бортов по всей длине судна (рис. 105).

На очень больших контейнеровозах переборки также выполняют объемными с целью восприятия больших давлений от палубного груза, передаваемых палубными перекрытиями на днище (см. рис. 245).

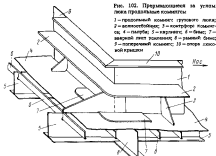


Рис. 103. Премахилення за улам
поверх продольного косяка

1 — продольный косяк (руслото лок);
2 — вертикальний косяк; 3 — поперечний косяк;
4 — гідроізоляція; 5 — карниз; 6 — фанера; 7 —
закритий лист цеглини; 8 — рівний фанера;
9 — поперечний косяк; 10 — шпала цегляної
краски

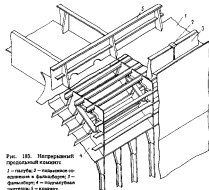


Рис. 104. Напруга продольного косяка

1 — гідроізоляція; 2 — напруга
косяка в фанері; 3 —
фанера; 4 — підкладочний
каркас; 5 — косяк

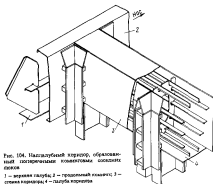


Рис. 105. Напруга продольного косяка
косяка

1 — дерев'яна гідроізоляція; 2 — продольний косяк; 3 —
стінка карниза; 4 — гідроізоляція

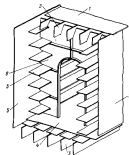


Рис. 106. Підкладочний
каркас з
поверхні під продольний
каркас

1 — дерев'яна гідроізоляція; 2 — стінка
карниза; 3 — продольний косяк;
4 — гідроізоляція; 5 — шпала;
6 — поперечний косяк

На навалочниках с большим раскрытием палуб поперечные коридоры под межлоковыми перемиками служат верхними опорами для поперечных гофрированных непроницаемых переборок (см. рис. 247).

4.3. Выбор системы набора палубных перекрытий

Система набора палубных перекрытий зависит от внешних нагрузок, которые действуют на данное перекрытие, и от конструктивного типа судна. Палубные перекрытия, расположенные в разных районах корпуса по его длине, могут иметь совершенно разные системы набора, так как принципы их проектирования различны. Главной задачей при проектировании палубных перекрытий, так же как и декингов, является обеспечение прочности, прочностных характеристик материала и обеспечение надежности работы конструкций.

Для рационального распределения материала по высоте желательно, чтобы верхний и нижний пояски поперечных сечений корпуса по площади были близки друг к другу. Однако добиться этого для судов с широкими лонжеронами трудно, поскольку приходится увеличивать толщину палубного настила и устанавливать продольный набор для увеличения площади верхнего пояски сечения, а не для обеспечения устойчивости листов палубы. Обычно, выбирая большую толщину для листов палубы, конструктор знает, что устойчивости этих листов можно достигнуть и за счет применения более технологичной поперечной системы набора, однако установка продольных балок дает дополнительную площадь поперечного сечения верхнего пояски корпуса-балки.

С целью увеличения верхних поясков поперечных сечений корпуса в средней части судна по длине, где действуют большие изгибающие моменты от общего продольного изгиба, следует подкреплять в совместной работе с корпусом наладчики, рубки, фальшборты и непрерывные продольные комингсы (см. рис. 105).

Необходимо иметь в виду, что повреждения на судах обычно чаще появляются в палубных и надпалубных конструкциях из-за большого количества вырезов, наличия разрывных связей, а также влияния низких температур. Поэтому при проектировании отдельных конструкций и выборе системы набора палубных перекрытий надо учитывать особенности их работы.

Выбор продольной системы набора для судов с большими палубными вырезами вызывается прежде всего необходимостью обеспечения большой площади верхнего пояски эквивалентного бруса, поскольку на таких судах непрерывная верхняя палуба имеет над узким листом у бортов (рис. 106, а). На навалочниках и на некоторых других судах, на которых все пояска палубного настила идет по всей длине, продольная система набора используется для увеличения устойчивости тонких листов палубного настила (рис. 106, б). Сравнение приведенных на рис. 106 конструктивных схем палуб судов двух типов показывает, что для палуб в оконечностях этих судов используются разные системы набора: поперечная (рис. 106, а) и продольная (рис. 106, б), а по всей

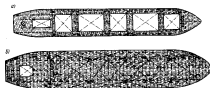


Рис. 106. Конструктивные схемы палуб: а — сухогрузного судна с широким раскрытием палубы; б — танкера с узким продольным перебором

На обоих судах малые оконечности разогнуты в кормовой оконечности, * — торсовая

длина верхней палубы судов обоих типов сохраняется продольная система, применение которой в оконечностях оправдывается только технологическими соображениями.

Если на судах с большими вырезами в верхней палубе ее листы нужно делать толстыми, то для судов с палубой без больших вырезов целесообразно принимать толщину ее листов минимально допустимой и использовать продольную систему набора для обеспечения устойчивости листов палубы при сжатии.

Не меняя систему набора по длине, можно унифицировать детали палубных перекрытий по всей длине судна. Изменение систем набора по длине судна связано с необходимостью постепенного перехода от одной системы к другой. Район, где одна система набора переходит в другую, называют переходным районом. В одном поперечном сечении в этом районе можно брать не более 1/3 общего числа продольных балок. В переходных районах возможно использование как продольной, так и поперечной систем набора.

Если вероятно действие усилий от заливаемости, необходимо предусматривать подкрепление палубных перекрытий верхней палубы в носу при отсутствии бака или палубы бака. Ориентировку балок подкрепления следует выбирать исходя из наименьшей длины их пролета.

При проектировании палуб в носовой оконечности нужно уделить особое внимание устойчивости палубных перекрытий в верхней части бортов, которые, как следует из опыта эксплуатации, на многих судах теряют устойчивость приблизительно на 1/3 длины и результате ударов в развал борта и в носовую часть длины при плавании на большом волнении (см. рис. 3). На судах длиной более 100 м, как правило, в средней части длины корпуса судна, оказывается целесообразным использовать продольную систему набора, обеспечивающую необходимый уровень устойчивости листов палубного настила при минимальной их толщине.

Когда из-за производственных условий завода-строителя более целесообразно изготовлять поперечную систему набора, она может использоваться на судах, у которых во всех случаях их загрузки палуба оказывается растянутой. Поперечная система на верхних палубах может применяться и тогда, когда напряжения от общего продольного изгиба имеют малую величину и расчетные изгибающие моменты, действующие в поперечных сечениях корпуса-балки, могут быть восприняты в основном листами палубного настила. Это обычно наблюдается на судах длиной менее 100 м и на высокобортовых судах большого размера.

Правила конструирования корпусов 1983 г. рекомендуют утолщать листы палубы, т. е. увеличивать их массу, с целью применения поперечной системы набора вместо продольной, если поперечная система создаст лучшие условия для восприятия местной нагрузки и если при этом существенно упростится технология изготовления и сборки палубного покрытия. В таком случае целесообразно увеличивать размеры шпангоута для уменьшения количества шпангоутных рам, состоящих из бимсов, флеров и соединяющих их двух шпангоутов разных бортов, расположенных в одной поперечной плоскости.

На рис. 107 показана поперечная система части палубного перекрытия танкера у поперечной переборки с рамной (шкотовой) стойкой в ДП.

При центральном расположении листов палубные перекрытия должны по продольным кройкам вырезом листов иметь настил карлингс, переходящие на верхней палубе в продольные комингсы (рис. 108), а по поперечным кройкам — рамные бимсы, переходящие в поперечные комингсы.

На судах, предназначенных для перевозки навалочных и сыпучих грузов, роль карлингсов вдоль продольных кромок выполняют наклонные стенки палубных бортовых цистерн (рис. 109). При двойном (парном) расположении грузовых листов карлингсы располагают по обоим продольным кройкам каждого листа. При этом продольная межлистовая перемычка вместе со стенками карлингсов и наклонными листами, соединяющими карлингсы, образует в ДП жесткую продольную балку (рис. 110), увеличивающую площадь верхней полки поперечного сечения корпуса. Для обеспечения достаточной полноты участка этой балки в общем продольном изгибе необходимо устанавливать под этой балкой продольную прокатную переборку или ряд широко раставленных шпильеров, которые передают усилия на ту же балку киль двойного дна. Участок продольной балки в общем изгибе судна типа «Боксид» («Полтава») рассматривалось в исследованиях А. З. Локшина, а также в работе Г. В. Бойцова и О. М. Палин [35].

Сечение поперечных межлистовых перемычек целесообразно делать коробчатым с целью компенсации общей жесткости корпуса на скручивание, потерянной из-за большой ширины листов. При этом межлистовые перемычки вместе с подпалубными бортовыми коридорами образуют замкнутый контур (рис. 111).

Продольную балку, расположенную под межливковой перемычкой, иногда выполняют с высокой стенкой и часто поставленным на ней

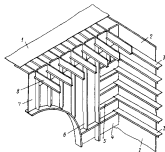


Рис. 107. Превод балок поперечного набора через карлингс и вклепание поперечной переборки

1 — палуба; 2 — поперечный набор; 3 — продольные ребра переборки; 4 — рамная стойка переборки; 5, 6 — ребра жесткости килей; карлингс и рамной стойки; 7 — карлингс, выполняющий роль килей у рамной стойки переборки; 8 — бимсы

продольным набором, который вместе с продольными комингсами увеличивает площадь верхней полки эквивалентного бруса, причем загнутые под палубой комингсы над палубой устанавливают отгибано, образуя общую подпалубную балку (рис. 112).

На продольных комингсах должны быть установлены конструкции для укладки листовых крышек на прокладках, обеспечивающие водонепроницаемость листовых закрытий (рис. 113).

На псевдовах-контейнеровозах и баржевозах с двойными бортами при центральном расположении листов обычно карлингсы не устанавливают, так как их заменяют вторые борта, являющиеся продолжением продольных комингсов. Однако от этого правила иногда несправедливо отступают, создавая уступ между стенкой двойного борта или переборки (рис. 114), и этим усложняют конструкцию.

Верхние палубы рудовозов и судов для навалочных грузов без продольных переборок, не требующих специальных подкреплений, имеют важную особенность, заключающуюся в установке наклонных подпалубных цистерн (см. том I, рис. 75). Эти цистерны так же, как верхняя палуба и верхняя часть бортов, имеют продольную систему набора (продольные ребра жесткости) и вместе с наклонным листом

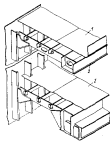


Рис. 104. Боковые карнизные, служащие опорой для листов кровли двуполубного сечения с широким раскрытием галуба
1 — верхняя галуба; 2 — карниз; 3 — нижняя галуба

Сборочный чертеж

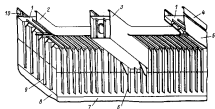


Рис. 110. Центральный карниз для тарных листов

1 — галуба; 2 — листовая планка; 3 — карнизно-высоте; 4 — фальшболт; 5 — болт; 6 — шайба; 7 — поперечная гребенка; 8 — болт; 9 — шайба; 10 — планка фальшболта

Сборочный чертеж

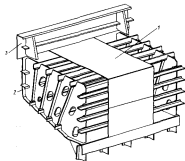


Рис. 109. Внутренняя стенка подгалубной перегородки, переводящая в продольный карниз и верхнюю часть карнизного

1 — галуба; 2 — стенка подгалубной перегородки; 3 — продольный элемент листа

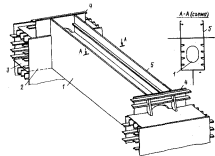


Рис. 111. Крепление поперечных подгалубных рамных связей на сдвиг с помощью раскрытых галубов

1 — наклонный болт; 2 — стенка бортового жорна; 3 — галуба жорна; 4 — продольный элемент; 5 — поперечный элемент

10*

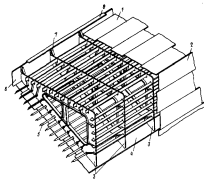


Рис. 115. Подпалубная система навалочника

1 — палуба; 2 — борт; 3 — поперечная рама; 4 — внутренняя стена цистерны; 5 — продольная рама; 6 — продольный навалочкарлинг; 7 — килевая рама; 8 — полка киля

в 1991 г. конструктивные мероприятия не могут решить вопрос. Предложения по реконструкции судов, перевозящих пароконденат и Тихоокеанской инспекции Регистры СССР, не осуществляются, так как ссылается на то, что на рассматриваемых судах модернизацию должен проводить Английский Lloyd, класс которого они имеют.

Возможность более серьезных разрушений на «Винсес» и «Ангара» подтверждается аварией японского навалочника-контейнеровоза, на котором во время жестокого шторма в Тихом океане произошла трещина по концам продольных килярей. Одна из них распространилась по палубе, а вторая — по дну подпалубной цистермы до борта. Сведения об этой аварии были приведены на конференции ПРАПС-3 в Тронхейве. Последняя авария могла закончиться и полным перебором судна, однако изменение курса и скорости позволило уменьшить напряжения в палубе, и судно благополучно дошло до порта. Недостатки конструкции на теплоходах «Винсей» и «Ангара» могут привести к некоторым трещинам, которые при неблагоприятных условиях могут распространиться на большие расстояния и представить серьезную угрозу прочности судна.

Необходимо еще раз обратить внимание на бесследное исчезновение судов, а также на перебои корпусов навалочников, имеющие место в последние годы. Это привлекает внимание международных организаций и прежде всего Международной морской организации (ИМО). Последние в 1991 г. обратились ко всем правительствам морских государств и к их классификационным обществам, рекомендовав им проводить детальное изучение причин бесследного исчезновения судов, а также характера повреждений навалочников, перевозивших тяжелые парамищисимые при каких грузах. Изучение повреждений возможно только на судах, которые после перебора оставались на плаву, или если процесс отделения носовой оконечности удалось наблюдать в процессе аварии.

ИМО своими циркулярами рекомендовало на всех навалочниках установить приборы, позволяющие контролировать внешние динамические нагрузки, действующие на корпус судна во время шторма и при проведении грузовых операций.

Верхнюю палубу накатных судов (см. рис. 97) целесообразно выполнять по продольной системе набора с большим числом продольных ребер, чередующихся с высокими карлингсами, и с более чистой расставкой рамы бимсов для восприятия нагрузки от колесной техники. Карлингсы в ДП обычно опираются на ряд мощных пиллерсов. Из-за необходимости размещения колесной техники разного размера высоту междупалубного пространства устанавливают с учетом размеров грузовых мест. Во всех случаях высоту набора перекрытий принимают минимальной, а свободные полки профилей делают большей толщины, чем обычно. В результате эти полки получаются в 2–3 раза толще стенок профилей, к которым они привариваются. При этом площадь полки профилей может получиться в два раза больше толщины их стенок, поэтому, учитывая опасность действующих срезающих усилий, допускается выполнять местные утолщения стенок.

Рамы и обухи, устанавливаемые на палубах для крепления груза, рекомендуются приваривать между бимсами равного набора (рамными бимсами, карлингсами). Отверстия в палубах для дефлекторов вентиляции желательно располагать так, чтобы каждое из них было бы достаточно малым и работало как изолированный шпунт (см. п. 5.2).

Соединения рамных шпунтов и бимсов целесообразно выполнять бесшовными. Шпунты на промежуточных палубах желательно пропускать через отверстия в палубных стрингерах, а при необходимости увеличения сечения — делать переходы под палубой.

На танкерах длиной более 80 м верхняя палуба всегда имеет продольную систему набора. Последнее время все чаще набор верхней палубы выносятся на наружную ее поверхность.

На рис. 116 показана конструкция верхней палубы нефтенавалочника, у которого набор под палубой сохранен только в подпалубной цистерме. В эту цистерму жидкий груз не принимается, и ее набор практически не корродирует.

Иногда при перевозке легкого зерна (например, овса) загрузку подпалубных цистерн и двойных бортов производят через специальные

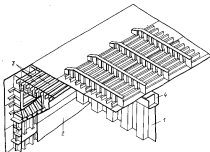


Рис. 116. Конструкция палубы нефтеналивного судна с двойными бортами
1 — гидроизоляция переборки; 2 — второй борт; 3 — набор подпалубной обшивки; 4 — верхний борт

горизонтально, а для сыпания груза в трюм в нижней части двойных бортов и в подпалубных отсеках устраивают герметически закрывающиеся водонепроницаемые горловины.

Накные палубы и платформы мексепалубных судов (рефрижераторов, аэлаучих баз, универсальных сухогрузных и пассажирских судов, автомобилейсоов и других судов с горизонтальной грузообработкой) в большинстве случаев располагают на небольшом расстоянии от нейтральной оси, они почти не участвуют в обеспечении общей продольной прочности корпуса. На выбор системы их набора влияют соотношения сторон опорного контура перекрытий и уровень местных нагрузок. Основные балки набора должны располагаться параллельно меньшей стороне опорного контура. Чаще всего целесообразно использовать поперечную систему набора как более простую в изготовлении. Это относится и к судам нового конструктивного типа — судам с горизонтальной грузообработкой, у которых высота балок палубных перекрытий нижних палуб, так же как и верхних, должна в значительной степени мешать размещению крупногабаритных грузов, что достигается установкой только разнесенных катингсов небольшой высоты.

Применение той или иной системы набора для платформы определяется их работой под действием поперечной нагрузки. Обычно они имеют поперечную систему набора. Платформы в машинном отделении и в

оконечностях выполняют роль бортовых стрингеров и служат опорой для обшивочных и рамных шпангоутов.

В составе транспортного флота имеются суда, на верхних палубах которых отсутствуют комингсы люков. Их закрытие осуществляется заподлицо с палубой с помощью водонепроницаемых крышек так же, как это делается на всех промежуточных палубах. Устройство закрытых люков без комингсов облегчает перемещение грузов по палубе, упрощает их размещение и снижает центр тяжести палубного груза, что особенно важно для лесовозов и контейнеровозов. Поскольку количество судов этих двух типов все увеличивается, отсутствие комингсов может дать большой экономический эффект.

При проектировании комингсов грузовых люков используют отраслевые стандарты. Однако размеры конструкций комингсов каждого проектируемого лесовоза, контейнеровоза и танкера необходимо определять расчетным путем в зависимости от тех местных нагрузок, которые действуют на люковые крышки и передаются через комингсы на палубу. При этом следует учитывать участие продольных комингсов в общем продольном изгибе.

4.4. Механизированные закрытия грузовых люков

В настоящее время на большинство судов используют механические закрытия люков, однако на некоторых современных судах с очень большими стальными люковыми крышками, например на крупных японских лесовозах, совершающих рейсы из Америки и из стран Юго-Восточной Азии в Японию, поверх последних укладывают бревны, так как обеспечить таким образом водонепроницаемость



Рис. 117. Механизм закрытия крышки люка

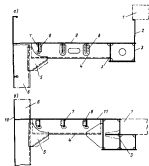


Рис. 128. Створки крышек люков на верхней (а) и нижней (б) палубах двухпалубного судна

1 — крышка люка; 2 — горизонтальный комингот; 3 — перимент; 4 — брус; 5 — боковые клинья; 6 — клинатор; 7 — горизонтальный ребор; 8 — асбест; 9 — верхняя палуба; 10 — борт; 11 — нижняя палуба; 12 — клинья палубы.

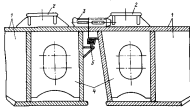


Рис. 129. Соединение двух соседних секций крышек люков

1 — осьные крепления; 2 — створки для поперечных; 3 — створки; 4 — брус; 5 — прокладка.

оказывается проще из-за большого смещения конструкций в районе вырезов при общем изгибе корпуса.

Существует три вида механических закрытых люков: с крышками погонного типа, которые при грузовых операциях снимаются на борт или на воду у борта судна; с крышками, шарнирно складывающимися и хранящимися вертикально за люками при открытом их положении (рис. 117); с крышками, наматываемыми одна за другой на вращающиеся барабаны. Обычно крышки двух последних типов смещают вдоль судна, однако на рудовозах с небольшими люками можно встретить закрытые люки, крышки которых скатываются по направляющим к одному из бортов.

Крышки погонного типа, закрываемые сверху брезентами, в открытом положении удерживаются на комингсах своей большой массой. Некоторые крышки других типов закрепляются на комингсах с помощью специальных приспособлений, а их непроницаемость обеспечивается патентованными прокладками. Если люки закрываются крышками, наматываемыми на барабан, или крышками, хранящимися вертикально после складывания в гармошку за люком, необходимо между соседними люками иметь поперечные перемазки достаточной длины.

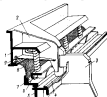
Обычно крышки на верхней палубе опираются на возвышающиеся над палубой комингсы (рис. 118, а), а крышки на нижних палубах — на специальные уступы в комингсах, так чтобы верхняя поверхность люковых крышек располагалась в одной плоскости с поверхностью палуб (рис. 118, б). При этом прочность крышек нижних палуб должна быть достаточной для восприятия не только массы того груза, который на них перевозится, но и динамических нагрузок, возникающих при работе колесных автопозуриков, спускаемых в туннели для распределения груза по палубе.

В процессе закрытия люка створки соседних секций его крышки при своем движении опускаются на водонепроницаемые прокладки и расклиниваются горизонтальными клиньями. Это способствует плотному прилеганию секций к водонепроницаемым прокладкам (рис. 119). Кроме расклинивания используют самые разнообразные способы крепления крышек люковых закрытий по-прежнему еще и тягами к водостойнику и др.

Створки крышек при открывании и закрывании люков катятся на роликах по специальному направляющему каналу.

Рис. 130. Закрытие люка крышками на пружинном амортизаторе

1 — крышка; 2 — ребор комингса крышки; 3 — клинатор; 4 — люк; 5 — комингот; 6 — пружина; 7 — клин; 8 — ребор; 9 — клинатор; 10 — клин.



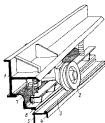


Рис. 120. Узел покового закрытия

1 — крышко; 2 — ролик; 3 — направляющая для ролика; 4 — ребра комматки; 5 — элемент; 6 — прокладок; 7 — гибкой резиновый лист

ным направляющим, установленным на водоподъемных комматках люков (рис. 120). На некоторых больших судах крышки имеют пружинные амортизаторы, устанавливаемые с целью предотвращения их вибрации и позволяющие избежать нарушения водонепроницаемости из-за быстрого выхода из строя прокладок (рис. 121). Иногда для фиксации крышек люков на них делают

специальные узоры, соединяемые с контрфорсами комматков (рис. 120). Кроме обычных прокладок для обеспечения водонепроницаемости используют гибкие резиновые шты, которые прижимаются к верхней и нижней частям крышек, соединенных мощными пружинами.

Перемещение отдельных створок крышек люковых закрытий обычно производится с помощью гидравлических устройств. На самых простых закрытиях створки крышек двигаются с помощью троса, от лебедки грузового устройства [1, рис. 206], закрепленного на концевой створке.

При большой высоте створок и небольшом их количестве они являются за поперечными комматками меньшего места. Предпочтительней на весь люк делать всего две большие створки, которые гидравлической поднимаются сразу за люком вертикально. В этом случае поперечные межкомматные переключки можно делать небольшими по длине.

На большинстве судов закрытия имеют сдвигающиеся крышки, створки которых по очереди одна за другой поворачиваются за поперечными комматками и становятся вертикально. Между собой створки соединяются цепями или гибкими тросами и катятся по роликкам по направляющим. За люком они катятся по другим направляющим и на других роликках, имеющих за створками, створки падают в вертикальное положение и так хранятся [1, рис. 205, 206].

4.5. Определение размеров элементов палубных перекрытий

Основным видом переменных нагрузок, действующих на конструкции судовой корпуса по всей его длине и по всему контуру поперечных его сечений, являются волновые нагрузки. Эти нагрузки вместе со статической нагрузкой на тихой воде определяют требования к местной прочности конструкций.

Расчетным давлением на верхних открытых палубах является давление, вычисленное по формуле (1.3.2.2), представленной в [111].

Для верхних открытых палуб, предназначенных для транспортировки груза на палубе (за исключением леса и кокса), расчетное давление принимается равным давлению груза, определяемому по формуле (1.3.4.1) в [111, с. 100].

Для нижних палуб и платформ расчетное давление вычисляется также по формуле (1.3.4.1) в [111, с. 100], но принимается не менее 20 кПа. Для пассажирских палуб и платформ оно должно составлять 5 мПа, а для платформ в машинном отделении — 16 мПа.

Продольные ребра жесткости палуб при расчетах считаются жестко заделанными в опорных сечениях, и за расчетные напряжения принимают наибольшие нормальные и касательные напряжения в этих сечениях.

Расчетные нагрузки, действующие на палубные конструкции при перевозке колесной техники, определяют в зависимости от наиболее тяжелых грузовых мест. Общая величина нагрузки при грузовых операциях обуславливается массой груза, массой погрузчика, числом осей, числом колес на оси и числом колес в группе на конце оси погрузчика.

Нагрузка во время плавания должна учитывать вертикальные ускорения корпуса в районе хранения груза на колесах. Как уже указывалось, суда, перевозящие колесную технику, имеют верхнюю палубу, расширяющуюся по ширине от борта до борта, и нижние палубы, опирающиеся на двойные борты (см. том 1, рис. 54). По длине же эти палубы обычно опираются только на форштевень и ахтерштевень переборок. Для обеспечения необходимой прочности перекрытий с такими большими габаритами необходимо существенно увеличивать размеры балок набора и утолщать листы палубного настила во избежание их гофрировки. В результате масса перекрытий по сравнению с массой обычных судогрузных судов значительно увеличивается. Палубные перекрытия судов с горизонтальной грузообработкой имеют своеобразную конструкцию (рис. 122).

Переменные нагрузки, действующие на палубный настил, передаются на балки набора. Схема передачи этих нагрузок и их распределение определяются соотношением жесткости балок, расположенных по палубным перекрытиям в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При клетчатой системе набора (рис. 122) относительная жесткость балок обоих направлений примерно одинакова, и в этом случае поперечная нагрузка распределяется между балками пропорционально площади листов, поддерживаемых этими балками.

На судах с горизонтальной грузообработкой в палубах могут делаться только небольшие вырезы. Систему набора палубных перекрытий таких судов выбирают исходя из условий обеспечения местной прочности. Как правило, системы набора палубных перекрытий судов с горизонтальной грузообработкой напоминают клетчатую систему. Общая прочность палубных перекрытий обеспечивается большим количеством листов палубного настила и значительным количеством

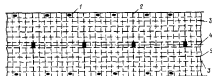


Рис. 122. Клетчатая система набора палубы накатного судна

1 — борты; 2 — рамный борт; 3 — продольные ребра; 4 — центральная балка-перекресток; 5 — карлингс; 6 — поперечные ребра; 7 — жесткая накатная поверхность

продольных ребер жесткости, устанавливаемых с целью ограничения размеров пластин палубных перекрытий (см. рис. 97).

С целью создания условий для передачи усилий с верховой палубы на нижележащие и на жесткий двойной дно и ДП устанавливают мощные карлингсы или объемные бабки из двух карлингсов, подкрепляемых рядом шпильеров (см. рис. 123), которые, хотя и мешают размещению груза в междупалубных помещениях (шпильерах), позволяют значительно уменьшить массу палубных перекрытий.

Динамические нагрузки, действующие при вкатывании воды на верхнюю палубу, точно определить невозможно, тем более что они суммируются с нагрузками в палубе, вызываемыми ударами и развал бортов и в носовую оконечность днища. Как показывает опыт эксплуатации, одновременное действие этих нагрузок во время большого волнения сопровождается серьезными нарушениями прочности палубных перекрытий в носовой оконечности.

Остается неизученной совместная работа фальшбортов на баке и палубных перекрытий, в лесах которых возможны вырывы при обрыве стоек фальшбортов после ударов при заливании и ударов в развал бортов.

Контрольные вопросы

1. Какие нагрузки действуют на палубные перекрытия судов рамных типов?
2. Каковы принципы конструирования верховой и нижней палуб?
3. Какова роль продольных контемптов и фальшбортов в составе палубных перекрытий?
4. Назовите особенности конструкции палуб в парамон и строковых лесах.
5. Какую роль играют двойные борты, послесовые шкестеры и подпалубные карлингсы в работе палубных перекрытий при обрыве и настилом настиле?
6. Укажите особенности конструкций палуб на накатных судах.
7. Какова конструкция межпалубного закрытого лоса?
8. Расскажите о принципах выбора размеров деталей палубных перекрытий контрольного набора.
9. Какую роль играют платформы, устанавливаемые внутри корпуса?

5.1. Принципы конструирования палубных вырезов

Подробный анализ причин повреждений первых сварных судов, проведенный ранее в целом ряде работ [15, 74, 106] и в первом издании учебника 1961 г., свидетельствует о том, что значительная часть повреждений корпусных конструкций вызывалась высокой концентрацией напряжений, возникающих в прерывистых сварках и прежде всего в палубных вырезах в наиболее напряженных районах судна в средней части его длины.

Несмотря на многолетнее изучение условий работы конструкций с различными вырезами, до сих пор не удается полностью избавиться от появления трещин в конструкциях судов, находящихся в экстремальных условиях плавания, особенно при низких температурах. Эти трещины иногда распространяются на большие расстояния и представляют опасность для судна [107].

У углов вырезов образуются высокие местные напряжения. Использование сталей, предотвращающих быстрое распространение трещин в сварных корпусах, способствует их торможению, однако вопрос выбора формы вырезов и конструирования их подкреплений необходимо уделять самое серьезное внимание. Опасный уровень повышенных напряжений у палубных вырезов всегда проявляется при посадке судна на мель, когда в палубных конструкциях возникают напряжения выше допустимых расчетами при проектировании. Трещины прежде всего появляются в районе вырезов и в некоторых других прерывистых сварках [1, § 76] (см. также Варабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 246, 247). Судостроительные стали в местах высокой концентрации напряжений, особенно при низких температурах, изменяют свои свойства и становятся склонными к хрупкому разрушению.

Проблема обеспечения хрупкой прочности корпусных конструкций значительно обострилась из-за увеличения объемов перевозок грузов в замерзавших морях. Большому охлаждению подвергаются конструкции, изолированные изнутри, а также конструкции с двухсторонним охлаждением. Температура таких конструкций становится близкой к температуре окружающего воздуха. Однако случаи хрупкого разрушения корпусных конструкций должны рассматриваться как результат случайного наложения способствующих им факторов. К таким факторам относятся кроме качества материала и низких температур качество изготовления конструкций, наличие в них дефектов, развитие дефектов во время эксплуатации судна, уровень и степень динамичности действующих нагрузок, градиент напряжений в районе высокой концентрации и некоторые другие причины.

Палубу конструкцию с вырезами можно представить как связь,

состоящую из непрерывной части и примыкающей к ней прерывистой части связи, концы которой по длине резко образуются. В местах обрыва возникает высокая концентрация напряжений, способствующая образованию трещин. При знакопеременных нагрузках она может вызвать усталость при малом количестве циклов.

Разрушение конструкций с прерывистыми связями можно предотвратить путем выбора оптимальной формы вырезов и их подкрепления, способствующих снижению концентрации напряжений. Считается, что для целостности конструкций опасна только чрезмерная концентрация напряжений. Поэтому допускается умеренная местная концентрация напряжений, так как это учитывают требования Правил Регистра СССР и Нормы прочности.

Еще при постройке клепаных судов встречались массовые переделки в углах палубных вырезов. Были приняты конструктивные меры, заключающиеся в установке накладных листов на заклепки по углам вырезов, и, несмотря на всевозможные принятые меры, появление трещин, даже при прямоугольных без скругления вырезов, прекратилось. Однако такие меры оказывались неэффективными при переходе на сварные конструкции, не обладающие податливостью, которая существовала в соединенных элементах конструкций на заклепках (см. гл. XIV в [1] и гл. XV в книге Н. В. Гребенюка. Конструкция корпуса морских судов. Л., Судостроение, 1969).

В последнее время все чаще используются способы уменьшения концентрации напряжений путем создания в прерывистых связях подкапанных соединений, которые впервые были использованы при модернизации судов типа „Либерт“. Применение их было описано акад. Ю. А. Шимельским.

5.2. Анализ концентрации напряжений в районе прямоугольных вырезов в палубе

На многочисленных судах с вертикальной грузообработкой в палубе устраивают прямоугольные грузовые люки, размеры которых l и b (рис. 123) назначают из условий обеспечения максимального удобства



Рис. 123. Грузовой люк трюма судна на палубе
 l — ширина люка; b — длина люка; i — ширина выреза; $i_{кп}$ — параметр скругления кромок выреза

для размещения грузов и упрощения производимых с ними операций. Наибольшие размеры люков зависят от контейнеровозов и лифтеровозов, и поэтому суда этих типов часто называют судами с люком раскрытием палуб. В корме промысловых без в носовой части исследовательских и рыбопромысловых судов требуется большие свободные площади палуб для производства работ, поэтому вырезы люков на этих судах делают небольшими. Для уменьшения поступления теплого воздуха в складываемые

грузовые трюмы при грузовых операциях предпочтительны люки рефрижераторов также небольших размеров. В зависимости от соотношения размеров, формы и возмозного расположения люков изменяется поле напряжений вокруг вырезов и прежде всего в районе их углов (рис. 124).

Для надежного конструирования основных прерывистых связей судов с палубными вырезами необходимо рассмотреть некоторые принципиальные вопросы, связанные с возможным возникновением концентраций напряжений в результате изменения формы скругления углов и влияния на концентрацию отдельных конструкций, устанавливаемых вблизи вырезов.

До сих пор наблюдается недостаточная надежность конструкций в районе палубных вырезов в результате допущения опасной величины концентрации напряжений, что происходит из-за незнания действительных условий совместной работы конструкций с размерами и ограничениями их комбинирования (сверху) и карлингсами (снизу). Комбинирование может заканчиваться у углов люков, могут быть непрерывными, а также крепиться концами к лобовым стенкам надстроек. В каждом случае создается своеобразное напряженное состояние палубных перекрытий в отдельных конструкциях в районе вырезов.

Конструкции, подкрепляющие вырезы, например такие, как продольные комбингасы, при общем изгибе могут повторять изгиб корпуса, деформироваться в обратную сторону относительно изгиба основного корпуса, а в случае присоединения их к надстройкам вибрация последних может создавать опасные знакопеременные нагрузки в районе

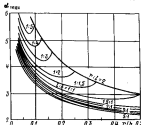


Рис. 124. Влияние относительного радиуса скругления угла r/b на коэффициент концентрации напряжений k_{max} в углах выреза при постоянном соотношении его сторон l/b

крепления комингсов и углов якорь. В результате малоосевой упругости при высоких напряжениях в таких конструкциях возможно появление трещин.

При назначении размеров конструкций в районе вырезов и выборе формы пользуются рекомендациями правил классификационных обществ, однако самые совершенные из них не позволяют учесть многочисленные возможные особенности форм конструкций, местоположение вырезов по длине судна в разных напряженных зонах, взаимное расположение вырезов по длине и ширине палубных перекрытий и т. д.

Правила рекомендуют использовать параболическую или эллиптическую формы скругления углов без рассмотрения некоторых важных обстоятельств, связанных с особенностями конструкций и расположением вырезов. Действительно, в правилах не делается различия между параболической и эллиптической формами скругления углов, а точки начала скругления на кромке выреза не задаются [106, 111]. Не учитывается напряженное состояние в районе вырезов (растяжение-сжатие, чистый изгиб, кручение). Форма контура в зонах высокой концентрации напряжений оказывает существенное влияние на максимальную величину напряжений.

Как бы ни были совершенны правила, в дополнение к ним должны быть разработаны специальные рекомендации для проектирования каждого своеобразного типа конструкций с вырезами, обеспечивающими при их использовании минимальную величину концентрации напряжений. Это позволяет увеличить надежность конструкций в экстремальных условиях при низких температурах, одновременно повысить их хрупкую прочность и устойчивость долговечность.

Палубные перекрытия с вырезами могут испытывать действие как растягивающих-сжимающих нормальных напряжений, так и напряжений от скручивания. Напряженное состояние перекрытий с вырезами при одновременном изгибе корпуса в вертикальной и горизонтальной плоскостях и при кручении оценивают по суммарным коэффициентам концентрации напряжений [106, § 13]. При этом суммарное воздействие оказывается близким к совокупности действия нагрузок от растяжения (сжатия), чистого изгиба и скрутки.

Местоположение точек с максимальной концентрацией напряжений на кромке выреза при действии различных нагрузок различно, и при суммировании напряжений необходимо определить суммарные напряжения в одних и тех же точках. Поэтому должно быть известно распределение показанных напряжений на всем участке контура выреза. К этим суммарным напряжениям необходимо добавлять напряжения, возникающие от работы прилегающих к вырезу конструкций.

Для судов разных типов наблюдается существенная разница в оформлении прилегающих к вырезам конструкций, оказывающих влияние на максимальную величину концентрации напряжений, а также на поле напряжений в районе вырезов. Продольные комингсы, например, могут быть непрерывными и служить продолжением створки

бортов, обрывать сразу за вырезами или закручиваться по форме вырезов в углах, переходя в поперечные комингсы. Хотя на судах и встречается резко обрывающиеся продольные комингсы и карлингсы, скругленные в углах вырезов, однако их необходимо продолжать в виде килей за поперечные кромки вырезов.

При устройстве комингсов-карлингсов необходимо добиваться, чтобы несимметричность этих двух конструкций относительно плоскости палубы не вызвала ее местного изгиба. Для этого поперечные размеры комингсов и карлингсов должны быть приблизительно одинаковыми. В противном случае произойдет нежелательное растяжение или сжатие.

Форму скругления углов прямоугольных вырезов в палубных перекрытиях и днище выбирают в зависимости от того, что собой представляет вырез. Вырез может быть одиночным, и напряжения на его кромках и близки им не подвергается ни одна из соседних кромок. Вырез может быть групповым, когда он находится в группе вырезов, оказывающих влияние один на другой. Чаще всего такие вырезы располагаются последовательно, и поэтому их еще называют эллиптическими.

Установленная форма скругления углов одиночных вырезов небольшой ширины ($b/B < 0,5$), которые обычно делают на палубах рефрижераторов, исследовательских судов, газозвон, на палубах длинных надстроек и рубок и на пассажирских судах, можно ориентировать на поле напряжений в районе выреза, полученное теоретическим путем при разных формах скругления [15, 106].

Современные требования, предъявляемые к форме скругления, имеют целью максимальное снижение концентрации напряжений прежде всего в зоне скругления углов. Это объясняется тем, что надежность конструкций в районе вырезов, представляющих прерывистые связи, определяется максимальной величиной концентрации напряжений. Последняя зависит от формы сопряжения продольной и поперечной створки прямоугольного выреза.

Скругление углов прямоугольных вырезов традиционно многие годы выполнялось по дуге скругления (см. Борзаков Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961), и только в 1964 г. в Правилах Английского Lloyd's было рекомендовано, правда без достаточных оснований, скругление углов по параболе [106, § 6]. Такая форма скругления, когда продольная кромка скругления имеет большую протяженность, чем протяженность поперечной кромки, позволяет получить снижение максимальных коэффициентов концентрации. Однако оптимальной формой скругления, как было установлено в результате подробных исследований этого вопроса, является эллиптическая форма выреза с большой осью, располагающейся вдоль него [106].

Современные Правила Регистра СССР, как уже говорилось, не делают различия между эллиптической и параболической формами скругления, а координаты точек дуги скругления в его начале вообще не задаются. В дополнение к рекомендациям Правил имеются следующие

ослабленные документы, регламентирующие форму и размеры конструкций в районе углов.

В настоящее время при обеспечении минимальной концентрации в районе углов обращается внимание на повышение устойчивости конструкций в районе углов путем соблюдения строгих требований, предъявляемых к технологии изготовления и контролю качества конструкций в этих районах, а также путем использования специальных конструкций в районе вырезов (комбингос, карингосов, межкомковых переборок) для уменьшения концентрации напряжений.

При выборе формы скругления углов вырезов отдельно рассматриваются одиночные ($b/B \leq 0,5$) и заплечные вырезы, имеющие большую ширину ($b/B \geq 0,5$).

До настоящего времени основными причинами повреждений являются технологические недостатки в районах с повышенной концентрацией напряжений. Усиленный контроль за качеством изготовления конструкций в таких районах должен обеспечить одинаковую степень влияния технологических микронеоднородностей и конструктивных микронеоднородностей на устойчивость долговечности и хрупкую прочность конструкций при низких температурах. Это позволяет устанавливать критерий устойчивости долговечности конструкций в зависимости от напряженного состояния прерывистых связей.

Для одиночных вырезов, находящихся в условиях растягивающих, заметного уменьшения максимальной концентрации напряжений, как уже отмечалось, можно добиться путем замены радиального скругления в углах скруглением, близким к эллиптическому. При этом при одинаковых максимальных коэффициентах концентрации сопряжений углов по радиусу и эллипсу в последнем случае скругление имеет меньшие параметры, и, следовательно, увеличивается полезная площадь лонка.

В варианте зигзагообразного расположения лонков на палубе при большом расстоянии между ними каждый вырез следует рассматривать как одиночный. Когда соседние вырезы оказывают влияние один на другой, чем меньше расстояние между ними, тем меньше концентрация напряжений в районе углов, и при близком расстоянии может оказаться, что подкрепления совсем не потребуются, а достаточно только скруглить углы по эллипсу и установить непрерывные продольные комбингосы и карингосы. Когда последние вырезы ряда, находящиеся в районах корпуса, необходимо подкреплять как углы одиночных вырезов.

В условиях одновременного вертикального и горизонтального общего продольного изгиба, а также кручения корпуса для одиночных вырезов с умеренной шириной по середине длины судна преобладающее влияние на концентрацию напряжений оказывает общий продольный изгиб в вертикальной продольной плоскости. При этом при подкреплении вырезов можно ориентироваться на поле напряжений, полученное для случая растяжения пластины с вырезом.

Для вырезов большой ширины и особенно при эллипсности их расположения необходимо рассматривать одновременно продольный

и горизонтальный изгибы, а также кручение корпуса, определяя суммарную величину концентрации напряжений в наиболее напряженных точках. В этих условиях минимальная величина концентрации напряжений отмечается при радиальном, а не при эллиптическом скруглении вырезов.

5.3. Концентрация напряжений в районе бортовых вырезов и поле напряжений у круглых и прямоугольных вырезов

В последнее время в бортах все чаще выполняются прямоугольные вырезы-лацорты для горизонтальной грузообработки, однако их подкрепление не всегда осуществляется с учетом поля напряжений в районе вырезов. Концентрация напряжений в углах таких вырезов изменяется в зависимости от их местоположения по длине и высоте борта и от формы скругления углов [106, 107].

Используемые в настоящее время способы подкрепления вырезов в бортах в недостаточной степени снижают концентрацию напряжений. Последние же нормативные документы не учитывают никаких рекомендаций по снижению концентрации напряжений в бортовых вырезах. Не разработаны также методы подкрепления вырезов в виде дверей и прямоугольных иллюминаторов в стенках надстроек и рубок. В углах этих вырезов продолжает появляться многоочасленные трещины [1, 106, 107] (см. также Баранов Н. В. Конструкции корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969). Такие трещины в последнее время наблюдались на ледоколе «Москва» и других судах, корпус которых за многолетнюю эксплуатацию подвергался значительному износу. В результате в корпусных конструкциях заметно увеличивалась напряженность и появлялись устойчивые повреждения в виде трещин (см. Баранов Н. В. Конструкции корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 340), распространение которых путем заварки их концов может быть остановлено [106, рис. 14, 15].

Концентрация напряжений в районе круглых вырезов в листах обшивки, таких, например, как иллюминаторы, определяется в зависимости от местоположения вырезов относительно кромок пластин. При определении поля напряжений и максимальных коэффициентов их концентрации вокруг круглых вырезов в широких пластинах, расположенных удаленно от их кромок, можно пользоваться теоретическим решением Г. Керны (см. Баранов Н. В. Конструкции корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, табл. 25). Если круглые вырезы находятся близко к кромок пластины, можно воспользоваться данными точного теоретического решения (см. Баранов Н. В. Конструкции корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, табл. 26, 27). Результаты этого решения также пригодны для определения напряжений в районе круглых вырезов иллюминаторных обшивок, выполняемых вблизи бортов на накатных судах (ро-ро) [107].

Ворактивные документы, используемые для проектирования конструкций с прямоугольными вырезами, за последние годы претерпе-

существенные изменения. Однако они все еще не полностью содержат уточненные зависимости для определения концентрации напряжений, устанавливающие оптимальные формы скруглений в местах перехода от прерывистой части к непрерывной.

Поле напряжений в районе вырезов и максимальные коэффициенты их концентрации принципиально можно рассчитывать методами математической теории упругости для плоских моделей прерывистых связей. Однако при этом возникают трудности, вызванные невозможностью с помощью конформных преобразований точно моделировать форму скруглений. Тем не менее решение плоской задачи методами аналитических функций предпочтительнее, чем использование численных и экспериментальных методов [124]. В настоящее время получены графики значений максимальных коэффициентов концентрации при разных формах скругления углов прямоугольных вырезов [106].

Для проектирования узлов в районе прямоугольных вырезов в листовых конструкциях корпуса судна необходимо знать влияние взаимного расположения вырезов и соотношения его главных размеров β на концентрацию напряжений, а также влияние формы и размеров сопряжения продольных и поперечных сторон выреза и степени раскрытия пластины $\beta = d/D$ на величину концентрации напряжений.

Вопрос подкрепления вырезов решается по-разному для широких и узких пластин (полос). К широким пластинам относятся пластины, у которых напряжения на внешних кромках не зависят от наличия выреза. Акад. Г. Н. Савин рекомендовал считать широкой пластину, имеющую $\beta < 0,2$, а узкой — пластину с $\beta > 0,2$. У нас в стране и за границей методом советского акад. Н. И. Мусхелишвили и акад. Г. Н. Савина [124, 125] всесторонне исследована концентрация напряжений в широких пластинах [5, 15, 106] (см. также: Боронов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969), а для узких пластин достаточно полные результаты получены с использованием метода фотоупругости.

Используя идеи акад. И. А. Шванского, проф. Г. В. Бойков разработал приближенный метод расчета прерывистых связей, позволяющий получить ряд численных результатов, и предложил практическую методику расчета концентрации напряжений в прерывистых связях. Ниже приведены результаты исследования концентрации напряжений для широких пластин с прямоугольными вырезами, скругленными по радиусу.

5.4. Концентрация напряжений при различных формах сопряжения сторон вырезов

Сопряжение по дуге окружности. В практике отечественного судостроения для судов с большим раскрытием галуб применяют скругление по дуге окружности как более рациональное в условиях скручивания корпуса. В табл. 9 представлены максимальные

Таблица 9. Значения коэффициента концентрации напряжений при различных пластинках вдоль эллиптической стороны

a/b	p/b									
	0,05	0,055	0,06	0,07	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
1,0	6,28	5,84	5,47	5,11	4,76	3,44	3,18	3,15	3,00	2,90
1,2	6,18	5,75	5,38	5,03	4,68	3,48	3,32	3,18	2,92	2,81
1,4	6,11	5,68	5,31	4,95	4,60	3,45	3,27	3,13	2,87	2,75
1,6	6,04	5,61	5,25	4,89	4,54	3,45	3,25	3,09	2,82	2,71
1,8	5,99	5,55	5,20	4,83	4,48	3,47	3,26	3,08	2,81	2,69
2,0	5,94	5,50	5,15	4,78	4,43	3,48	3,25	3,07	2,80	2,68
2,2	5,89	5,45	5,12	4,73	4,38	3,51	3,27	3,09	2,82	2,70
2,4	5,87	5,42	5,09	4,69	4,35	3,52	3,28	3,09	2,82	2,70
2,6	5,84	5,39	5,07	4,67	4,33	3,53	3,29	3,11	2,83	2,71
3,0	5,81	5,37	5,05	4,65	4,31	3,54	3,29	3,12	2,84	2,72
3,2	5,77	5,33	5,01	4,63	4,29	3,54	3,29	3,12	2,84	2,72
3,4	5,75	5,31	5,00	4,62	4,28	3,55	3,30	3,13	2,85	2,73
3,6	5,73	5,29	4,99	4,61	4,27	3,55	3,31	3,14	2,86	2,74
3,8	5,71	5,28	4,98	4,60	4,26	3,56	3,32	3,15	2,87	2,75
4,0	5,70	5,27	4,97	4,59	4,25	3,56	3,33	3,16	2,88	2,76
4,2	5,69	5,26	4,96	4,58	4,24	3,57	3,34	3,17	2,89	2,77
4,4	5,68	5,25	4,95	4,57	4,23	3,57	3,35	3,18	2,90	2,78
4,6	5,67	5,24	4,94	4,56	4,22	3,58	3,36	3,19	2,91	2,79
4,8	5,66	5,23	4,94	4,55	4,21	3,58	3,37	3,20	2,92	2,80
5,0	5,65	5,22	4,93	4,54	4,20	3,59	3,38	3,21	2,93	2,81

коэффициенты концентрации напряжений σ_{max} при различных отношениях размеров вырезов l/b и радиуса скругления r/b .

Графический законности максимальных коэффициентов концентрации напряжений σ_{max} от относительных параметров вырезов l/b и r/b даны на рис. 125, 126.

Величина максимальных коэффициентов концентрации нормальных напряжений при тех же радиусах скругления углов прямоугольных вырезов, но при расположении их длинной стороной поперек растягивающих (сжимающих) усилий ($l/b < 1$) значительно увеличивается, и поэтому необходимо избегать устройства таких вырезов.

При проектировании конструкций необходимо знать, где по скруглению углов располагаются точки с максимальной концентрацией напряжений. При скруглении по радиусу эти точки находятся на длинной стороне выреза и в начале скругления.

Скругление по эллипсу. Наиболее рациональным видом скругления является скругление по дуге эллипса при расположении большей его оси вдоль длинной стороны выреза. Применение уточненных методов к исследованию эллиптической формы сопряжения сторон вырезов позволило установить определенные закономерности [106]. В работе [14] для вырезов с соотношением сторон $l/b = 2$ рассмотрено влияние на концентрацию напряжений длины продольной кромки сопряжения при изменяющейся его длине на поперечной кромке.

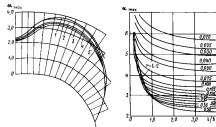


Рис. 125. Распределение напряжений в зоне скругления угла по дуге скругления радиуса $r/b = 0,1$ для вырезов с различными соотношениями сторон:

1) $l/b = 1/2$; 2) $l/b = 1$; 3) $l/b = 2$; 4) $l/b = 3$; 5) $l/b = 4$; 6) $l/b = 5$; 7) $l/b = 10$.

Рис. 126. Влияние относительной длины выреза l/b на коэффициент концентрации напряжений K_{max} при постоянном относительном радиусе r/b

Под эллиптической формой сопряжения сторон прямоугольного выреза в его углах подразумевается сопряжение продольной и поперечной сторон выреза с четвертью частью дуги эллипса: $(x^2/m^2) + (y^2/n^2) = 1$, расположенной между его осями. Здесь m и n — большая и малая полуоси эллипса.

Распределение напряжений на контуре прямоугольного выреза у его угла при эллиптическом сопряжении сторон приведено в [106] (рис. 127, 128).

Ввиду того что эллиптическая форма сопряжения обеспечивает снижение максимальных коэффициентов концентрации на кромках вырезов на 10–30%, для сравнительно небольших отклонений длины к кривизне вырезов, которое характерно в корпусах современных судов, можно получить наибольшее снижение концентрации напряжений. Поэтому эллиптическую форму сопряжения следует рекомендовать в качестве основной для всех прерывистых связей и прямоугольных вырезов, работающих в условиях растяжения-сжатия, а оптимальные параметры формы сопряжения выбирать по диаграммам [106, с. 100, 161].

Сопряжение по параболе. Некоторыми нормативными документами рекомендуют параболосообразную форму сопряжения сторон прямоугольных вырезов в их углах. Однако заметное снижение максимальных коэффициентов концентрации напряжений наблюдается при использовании эллиптической формы, что хорошо видно из сопоставления ее с формой параболосообразной [106, рис. 34]. В работе [106] уточнено влияние параметров вырезов и формы сопряжения их сторон на величину максимальной концентрации напряжений и на распределение контурных

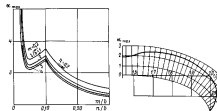


Рис. 127. Влияние относительной длины выреза l/b на зависимость коэффициента концентрации напряжений K_{max} от параметров эллиптического сопряжения m и n

Рис. 128. Распределение контурных напряжений при эллиптическом сопряжении сторон выреза ($l/b = 1$; $n/b = 0,1$; $m/n = 2$)

напряжений в зоне их концентрации. Построенные графики для широких пластин [106, § 3] позволяют обоснованно выбирать оптимальные формы сопряжения и при проектировании судов, имеющих в палубе не только малые вырезы. С целью установления пределов возможного использования теоретических решений для широких вырезов по отношению к ширине палубы проведены исследования [106], которые показали, что уже при $B/b = 3.5$ результаты решения для широких пластин и полос отличаются не более чем на 10 %. Значения концентрации напряжений в отдельных точках контуры вырезов отличаются на ту же величину. Они отличаются незначительно, даже если $B/b = 0.4$, и качественная картина влияния параметров выреза на $\sigma_{\max}$ сохраняется в случае $B/b = 0.5$.

Многочисленные эксперименты, проведенные методами фотоупругости, подтверждают последние выводы. При проектировании конструкций с вырезами необходимо учитывать наличие продольных комбингов и картингов, которые могут оказывать влияние на поле напряжений и максимальную величину их концентрации в районе углов вырезов.

Первые попытки определить, почему возникают повреждения в районе углов прямоугольных вырезов, были сделаны еще в конце прошлого века (см. Барановен Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961). Теоретические разработки проблемы концентрации напряжений в прерывистых сечениях были выполнены академиком Ю. А. Шиманским [152]. Была использована модель прерывистой связи и получены формулы для расчета коэффициентов концентрации напряжений по кромкам вырезов и для определения эффективности работы сечений за вырезом (рис. 129). Похоже такая же работа была выполнена с использованием методов математической теории упругости, в результате которой оказалось, что коэффициенты эффективности поперечных сечений K_x за поперечными кромками вырезом несколько больше (см. Барановен Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969).

Увеличение размеров перемычек между соседними вырезами (до некоторого поперечного сечения) приводит к увеличению максимальных коэффициентов концентрации напряжений на хромке вырезов при работе конструкций при растяжении и сжатии. Чем меньше толщина листов перемычек, тем меньше и концентрации напряжений в углах

Академик Ю. А. Шиммский рекомендовал выполнять подкрепление по всей длине выреза, которое, как показали более поздние исследования, не всегда целесообразно. Во втором издании учебника (см. Баранов Н. В. Конструкция корпусов морских судов. М.: Судостроение, 1969) уточнено распределение касательных напряжений τ_{xy} (см. рис. 129) вдоль линии продольных комингсов за вырезом. Это сделали авторы по просьбе Ю. А. Шиммского с целью уточнения расчетов концентраций напряжений по кромкам вырезов при использовании его метода. В работах [31, 32] произведена оценка влияния перепадов на напряжения на кромках выреза. Уменьшение длины перепадов ведет к заметному уменьшению максимальных коэффициентов

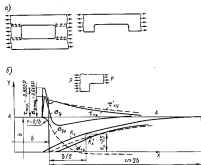


Рис. 119. Окрашивание концентраторов напряжений в призматических сваях: а — модель призматической сваи; б — графики напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} и кривые коэффициентов эффективности сечений K_{σ_x} , K_{σ_y} , полученные теоретическим и численным методами

σ_x, T_{xy} — напряжения по линии AA ; σ_{z0}, σ_{z1} — напряжения вдоль оси z ; T_{xy} — напряжения по линии AA , введенные по формулам К. А. Пизанского

концентрации в углекислых вырезах, в то время как толщина листов не вырезом при малой длине перемычек оказывает на них незначительное влияние.

Оценка напряженного состояния в районе вырезов в судовых переборках в общем случае связана с определением суммарных коэффициентов концентрации напряжений при изгибе корпуса судна в вертикальной и горизонтальной плоскостях и при его кручении. При этом суммарное воздействие на конструкции судна оказывается близким к совокупности действия нагрузок, соответствующих растяжению, чистому изгибу и сдвигу. При изгибе бортов в своей плоскости при общем продольном изгибе корпуса наблюдаются все три вида нагружения. Задача по определению напряжений в районе бортовых вырезов сводится к плоской задаче теории упругости в условиях деформаций широкой пластины с вырезом.

Точки с максимальной концентрацией напряжений на кромке выреза при растяжении пластины, при ее чистом изгибе и сдвиге находятся в разных местах. Поэтому при суммировании напряжений

и нахождения максимальной суммарной величины концентраций напряжений мало знать только максимальные напряжения от отдельных составляющих общей нагрузки, необходимо иметь данные о распределении напряжений от отдельных составляющих нагрузок по всему контуру вырезов конструкции и прежде всего в их углах.

Подробно вопросы исследования суммарных коэффициентов концентрации напряжений у вырезов в борту, расположенных в разных районах по длине судна, рассмотрены в монографии [106, § 13, 14].

При проектировании бортовых вырезов (лацпортов) необходимо учитывать следующие соображения:

предпочтительное расположение прямоугольных вырезов позволяет обеспечить появление самых небольших максимальных коэффициентов концентрации напряжений при расположении вырезов в зоне действия максимальных изгибающих моментов;

для других районов по длине судна можно принимать как предпочтительное расположение вырезов лацпортов, так и поперечное;

при продольном расположении вырезов-лацпортов и увеличении радиусов скругления углов величина максимальных коэффициентов концентрации напряжений для всех случаев напряженного состояния связей уменьшается. В случае поперечного расположения вырезов и скругления минимальная концентрация отмечается при скруглении углов радиусами $r = 0,35b$.

Подробные сведения о напряженном состоянии связей и об изменении величин концентраций напряжений в районе вырезов при изменении их местоположения по высоте борта и по длине судна можно найти в монографии [106].

5.5. Влияние основных геометрических и конструктивных характеристик пластин с вырезами на величину концентрации напряжений

При анализе поля напряжений в корпусных конструкциях с вырезами, проводимом с целью обеспечения конструкции от появления высокой концентрации напряжений путем снижения ее величины, необходимо правильно выбрать расчетное сечение и установить, что понимается под коэффициентом концентрации напряжений. Выбор номинальных напряжений по тому или иному поперечному сечению для сравнения с напряжениями в отдельных точках конструкции нельзя делать произвольно. Это может привести к неправомерным выводам при анализе работы конструкций и грубым ошибкам при расчете подкреплений вырезов. В зависимости от того, какое сечение в конструкции принимается за расчетное (сечение по вырезу или сечение за вырезом), подкрепления вырезов выполняются по-разному. Для расчетного поперечного сечения, проходящего через вырез, конструктивные подкрепления должны уменьшать величину концентрации напряжений только в углах выреза, а для расчетного сечения,

проходящего за вырезом, целью подкрепления, кроме снижения концентрации напряжений, является еще и компенсация самого выреза. Последние означают, что моменты инерции поперечного сечения по вырезу и за вырезом необходимо иметь одинаковыми. Если изгибающие моменты в поперечных сечениях изменяются, то при установке подкреплений вырезов это необходимо учитывать, сохраняя допустимую величину напряжений в поперечных сечениях [106, § 17].

Для расчетного поперечного сечения за вырезом нормальные напряжения в любой точке в зоне их концентрации должны сравниваться с напряжениями σ_0 , действующими в данном сечении. При этом коэффициент концентрации определяется как отношение $\alpha = \sigma/\sigma_0$ (рис. 130).

Если же за расчетное сечение берется поперечное сечение, проходящее через вырез, то напряжения σ в любой точке в зоне концентрации необходимо сравнивать со средними напряжениями σ_{cp} , действующими по сечению, проходящему через вырез. Коэффициент концентрации напряжений при этом составит $\alpha_1 = \sigma/\sigma_{cp}$ (рис. 130).

Оба коэффициента концентрации напряжений связаны между собой зависимостью $\alpha = [B/(B-b)]\alpha_1$.

В настоящее время кораблестроительная наука располагает многочисленными исследованиями, целью которых было определение концентрации напряжений как на кромке прямоугольных вырезов в пластине, так и удале от кромок. Большая часть исследований была посвящена определению влияния на величину концентрации напряжений изменения геометрических параметров пластины, представляющих упрощенную модель палубного перекрытия. За коэффициент концентрации в большинстве исследований принималась величина α_1 , которая для листа конечной ширины с прямоугольным вырезом всегда меньше коэффициента концентрации α , так как $B/(B-b)$ всегда больше единицы. Следовательно, α всегда больше α_1 и по мере увеличения ширины пластины разница между ними уменьшается.

Концентрация напряжений в районе прямоугольных вырезов, расположенных один за другим (запасное расположение) на палубе, изменяется в зависимости от измененного расстояния между их поперечными кромками, т. е. от длины перемычки между вырезами, а также от отношения длины выреза к его ширине (b/b_1).



Рис. 130. Определение коэффициентов концентрации напряжений

Если палуба с одиночным вырезом в районе с небольшими изменениями напряжений от общего продольного изгиба находится в условиях растяжения или сжатия, то на некотором расстоянии от поперечных кромок поведутся поперечные сечения с равномерным распределением напряжений. То же самое происходит и при асимметричном расположении вырезов, если расстояние между ними достаточно большое.

В общем случае по характеру напряженного состояния палубное перекрытие с несколькими вырезами, идущими один за другим и отделенными один от другого по длине перемычками, может быть условно разбито на несколько отдельных зон (рис. 131). В зоне I-II, простирающейся на длину около $3/4$ выреза, напряжения вблизи продольных кромок несколько повышены по сравнению с напряжениями в поперечных сечениях, где они распределены равномерно. Это повышение напряжений практически одинаково, и коэффициент концентрации напряжений α не превышает 1,3-1,7. В зоне II-III, протяженности которой приблизительно равняется $1/4$ выреза от его поперечной кромки, концентрация напряжений на кромках вырезов резко увеличивается до максимальной величины в начале планного сжатия продольной и поперечной кромок. Эта зона является зоной наибольшей концентрации напряжений. В зоне III-IV, длина которой определяется отношением ширины выреза b к ширине палубы B , напряжения равномерны. По продольному сечению Г-Г между соседними вырезами А и Б напряжения возрастают от нуля на поперечной кромке выреза до величины напряжений σ вдали от выреза, где влияние последнего на изменение напряжения не сказывается. В зоне IV-V нормальные напряжения по любому поперечному сечению распределяются равномерно, и на их величину наличие вырезов не влияет. Отсутствие зоны III-IV между соседними вырезами свидетельствует о распространении влияния вырезов на всю длину перемычки между ними. Появление зоны III-IV за расчетное сечение позволяет принимать поперечное сечение в этой зоне, и действующее в этом сечении равномерно распределенные напряжения брать за расчетные. Тогда, если изгибающий момент от общего продольного изгиба на всем участке расположения вырезов, а также за ними и между ними имеет постоянную величину

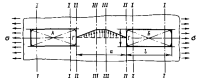


Рис. 131. Различные зоны напряжений в пластине с вырезами

или близкую к ней, то необходимо потерянную часть поперечных срезов в результате образования вырезов компенсировать так, чтобы любое поперечное сечение корпуса имело момент инерции такой же, какой имеется в сечениях в зоне III-IV. Для этого вдоль продольных кромок с обеих сторон вырезов необходимо установить утолщенные листы, общая площадь утолщенного сечения которых должна быть равна площади поперечного сечения листов, убранных при образовании вырезов. Эту потерянную площадь можно частично компенсировать также с помощью продольных комматов и карлингсов, продолженных за поперечными кромками вырезов на достаточное расстояние.

Компенсация вырезов должна осуществляться не только на длине самих вырезов, но и за вырезами, где утолщенные листы должны компенсировать потерю эффективно работающего материала за вырезами, которая определяется коэффициентом K_y (см. рис. 129). Каждое поперечное сечение за вырезом подкрепляющих листов теоретически должно уменьшаться по мере возрастания K_y на величину этого возрастания, и на расстоянии для квадратного выреза около $2b$, где $K_y = 1$, подкрепление должно заканчиваться. Однако достаточно листы подкрепления за вырезом заканчивать там, где $K_y = 0,5$, если обеспечить непрерывность продольных комматов и карлингсов.

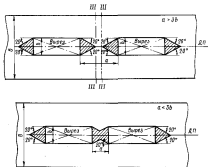


Рис. 132. Нисходящая площадь за вырезом на расчетном сечении

исходная площадь

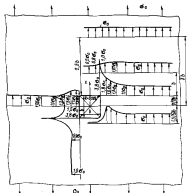


Рис. 133. Эпюры напряжений по поперечным сечениям у прямо-угольного выреза

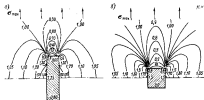


Рис. 134. Линии распределения напряжений вблизи треугольного (а) и квадратного (б) вырезов

Утолщенные листы, кроме компенсационной выреза и части материала за вырезом, который не способен работать полной своей площадью, вместе с продольными компенсами и картами должны обеспечивать уменьшение высокой концентрации напряжений в районе скругления в углах. Однако, как показывают исследования, все эти мероприятия снижают концентрацию напряжений недостаточно, и для ее дополнительного уменьшения должны приниматься другие меры.

При расчетах общей продольной прочности в соответствии с Нормами прочности в зоне III—III (см. рис. 131) некоторая часть площади связей за вырезом, которые расположены между двумя параллельными продольными из углов выреза под углом 20° к линии продольных компенсов (рис. 132), из расчетного поперечного сечения корпуса исключается.

Так как листы палубных настилов между соседними вырезами включаются в работу постепенно, уменьшение расстояния между ними при отсутствии зоны III—III вызывает уменьшение концентрации напряжений в смежных углах. Это было впервые доказано акад. Ю. А. Ишимским при использовании приближенной теории деформаций прерывистых связей [152].

Когда ширина вырезов приближается к ширине палубы, положение зоны III—III происходит разное, чем при нешироких вырезах. Это подтверждается исследованиями, проведенными Г. В. Бойцовым [30] и Л. П. Итьченко.

На рис. 133 показаны эпюры напряжений по поперечным сечениям за квадратным вырезом и широким эллипсом, а на рис. 134 — линии разных напряжений вокруг треугольного и квадратного вырезов.

5.6. Влияние подкреплений вырезов на концентрацию напряжений

В современном судостроении для компенсации потерянной площади в результате образования вырезов и одновременного уменьшения концентрации напряжений, вызываемой наличием этих вырезов, в листовых конструкциях судового корпуса используются утолщенные листы, а для малых вырезов — обшивочные полосы по обводу контура выреза. Однако существенного уменьшения концентрации напряжений этими способами достичь не удается, и в районе вырезов остается зона повышенной концентрации напряжений. Компенсация потерянной в результате образования вырезов площади достигается установкой утолщенных листов, а для ликвидации повышенных напряжений требуется принимать дополнительные меры.

Компенсация достигается также путем установки продольных за поперечные кромки прямоугольных вырезов непрерывных продольных компенсов и карт, идущих вдоль продольных кромок вырезов. Это было неоднократно подтверждено при проведении натурных экспериментов и при испытаниях моделей. На рис. 135 приведены эпюры продольных нормальных напряжений, которые получены при их экспериментальном определении по поперечным

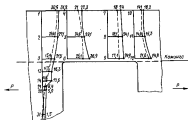


Рис. 135. Распределение напряжений в пластине модели выреза
— без кониксов; --- с кониксами

сечениям крупной объемной модели из плексигласа. Вначале испытывалась модель с вырезом без кониксов, а потом были установлены непрерывные кониксы. Как видно из рисунка, установка продольных кониксов заметно уменьшает напряжения.

На рис. 136 показано изменение напряжений по высоте карниза в углу лонжа машинной шахты, полученное при испытаниях судна на береговых опорах. В карнизе, как и в листах палубы у угла прямоугонного выреза, отмечается высокая концентрация напряжений.

Утолщенные сварные листы целесообразно извлекать так, чтобы их средняя плоскость совпадала со средними плоскостями соседних листов, а концы толстых листов должны состыковываться до толщины окружающих листов.

Дополнительно уменьшать уровень концентрации напряжений у углов вырезов можно установкой в этих районах утолщенных сварных листов из стали более высокого сопротивления, свариваемых с утолщенными компенсирующими листами (см. Баранов И. В. Конструкция корпуса морских судов. М.: Судостроение, 1969). Местные напряжения высокой концентрации воспринимаются более прочным материалом, в котором допускаются более высокие напряжения, чем в компенсирующем утолщенном листе и в соседних конструкциях корпуса.



Рис. 136. Напряжения в карнизе, установленном под углом палубного выреза

Целесообразно устанавливать сварные листы из сталей повышенной прочности, замыкая тем самым зоны повышенных напряжений в районе прерывистых связей. В отличие от сварных листов большей толщины форма и размеры листа в этом случае не оказывают влияния на концентрацию напряжений. Сварные зоны утолщенных листов нужно располагать вне зоны высокой концентрации напряжений.

Работоспособность конструкций из судостроительных сталей повышенной прочности в условиях знакопеременных нагрузок несколько больше, чем конструкций из обычных углеродистых сталей. Кроме этого, можно использовать специальные стали с более высокими упругими характеристиками и высокими пластическими свойствами и одновременно применять дополнительные меры для обеспечения упругой прочности конструкций. В качестве радикального средства повышения упругой прочности легированных сталей в конструкциях с концентраторами рекомендуется применять метод поперечного наклона, который, по данным исследований проф. И. В. Кудряшова [73, 146], дает очень хорошие результаты.

Использование в судостроении усиленных листов из материала с более высокими механическими качествами, чем качества материала основного корпуса, в течение более 40 лет не сопровождалось какими-либо повторными повреждениями, что подтверждает достаточную упругую долговечность этих подкреплений.

Однако, как уже отмечалось, использование усиленных листов одной толщины с соседними в районе выреза не позволяет одновременно компенсировать потерянную площадь поперечного сечения корпуса, и при необходимости таких компенсаций листы требуются утолщенные.

При проектировании подкреплений одиночных вырезов в палубе возможны три разных случая расположения вырезов.

1. Одиночный (изолированный) вырез, расположенный в зоне действия максимальных изгибающих моментов от общего продольного изгиба корпуса, когда эта зона простирается за поперечными кромками выреза на значительное расстояние. За кромками выреза поперечные сечения в палубе имеют равномерное распределение напряжений, и поэтому для экономии массы палубного перекрытия целесообразно за расчетное сечение принимать сечение за вырезом. Если напряжения в этом сечении палубы взять равными допускаемым, то в любом поперечном сечении через вырез средние номинальные напряжения будут больше допускаемых, и, следовательно, вырез должен подкрепиться утолщенными листами, устанавливаемыми вдоль его продольных кромок, а также непрерывными кониксами и карнизами.

Усиленные и утолщенные листы были установлены в углах лонж на двух судах типа «Пионер» [1, рис. 207] и хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации.

При разработке подкреплений одиночных палубных вырезов возможны различные варианты в зависимости от пола напряжений,

изменяющегося по длине судна в районах расположения вырезов.

2. Одиночный (изолированный) вырез, ширина которого $b : B \leq 0,5$, расположенный либо в оконечностях, либо одной кромкой попадающий в зону максимальных изгибающих моментов.

Когда оба конца одиночного выреза располагаются в оконечностях корпуса, где изгибающие моменты в поперечных сечениях имеют небольшую величину, за расчетное сечение принимается поперечное сечение через вырез, и максимальный коэффициент концентрации нормальных напряжений будет определяться как отношение напряжений в точке с максимальным в расчетном сечении. Этот коэффициент может иметь величину, близкую к единице и даже меньше ее, и тогда никаких подкреплений выреза не требуется.

Когда один конец одиночного выреза располагается в зоне действия максимального изгибающего момента, а другой — в сечении, где изгибающий момент имеет незначительную величину, и, следовательно, напряжения по поперечным сечениям невелики, необходимо подкреплять только углы в зоне с высокими напряжениями, а за расчетное сечение брать сечение по шлюзу в районе действия максимального изгибающего момента. Компенсировать вырез необходимо в зависимости от изменения величины изгибающих моментов по его длине. Углы выреза, расположенные в районе действия максимального изгибающего момента, необходимо подкреплять усиленными утолщенными листами, которые составляют одно целое с утолщенными компенсирующими вырез листами.

3. Одиночный вырез при большом раскрытии палубы ($0,5 < b : B < 0,7$), как и одиночный вырез с $b : B \leq 0,5$, может рассматриваться по-разному по длине судна.

За расчетное сечение должны приниматься те же сечения, что и при одиночном вырезе с $b : B \leq 0,5$. Однако компенсация выреза одним утолщенным листом обычно невозможна, так как их толщина из-за малых расстояний от продольных кромок выреза до борта получается очень большой. Поэтому дополнительно компенсировать вырез приходится установкой непрерывных комингсов и карлингсов. Но даже и при этом компенсировать широкий вырез не всегда удается, поэтому за расчетное поперечное сечение целесообразно брать сечение через вырез.

Защелочное расположение палубных вырезов при небольшом расстоянии один от другого, когда в перемычках за вырезами возникают очень большие напряжения, могут рассмат-

риваться как сплошные вырезы. В этом случае за расчетное сечение необходимо принимать поперечное сечение через вырез и углы вырезов, если последние располагаются в районах, где изгибающие моменты от общего продольного изгиба невелики, могут совершенно не подкрепляться.

Целесообразность использования подкосных продольных соединений по концам листов для уменьшения концентрации напряжений рассмотрена в п. 5.8.

При исследовании влияния разных подкреплений на концентрацию напряжений в районе вырезов, проведенном на различных моделях из стали и пленки, было установлено, что утолщенные листы в углах и вдоль продольных кромок вырезов уменьшают напряжения не пропорционально увеличению их толщины, а в значительно меньшей степени (см. Бороваков Н. В. Конструкция корпусов морских судов. Л.: Судостроение, 1969, § 65). Одной из причин этого является концентрированное растягивающее утолщенные в одну сторону листы и вызванный этим их изгиб.

Установка листов в виде дублировки на заклепках или на электрозаклепках дополнительно снижает степень уменьшения концентрации напряжений у вырезов, так как сами накладные листы являются перемычками связями, и по их концам создается новая концентрация напряжений. Самым надежным способом подкрепления вырезов является установка усиленных листов из сталей с более высоким пределом текучести σ_t и с более высокими усталостными характеристиками, чем основные конструкции. Для подкрепления углов листов при постройке судов в США еще в 1962 г. (см. Бороваков Н. В.

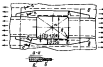


Рис. 138. Формы сварного листа, компенсирующего некоторые нормативные пропуски

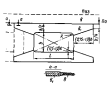


Рис. 139. Различные формы сварного листа

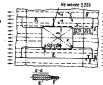


Рис. 140. Тот же, что и рис. 139

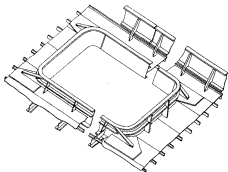


Рис. 141. Сварные утолщенные листы по углам кружащего листа верхней палубы

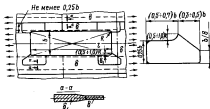


Рис. 142. Формы сварных листов в углах вырезов

Конструкция корпуса морских судов. П.: Судостроение, 1963) использовалась броневая сталь с $\sigma_s = 700 \text{ мПа}$ (7000 кгс/см^2).

При установке любых утолщенных листов утолщенная часть приклеивается к работе касательными усилиями σ_s , воспринимаемыми по плоскости начала утолщения или по плоскости сопряжения дублирующих листов с палубным настилом (рис. 137). Чем толще утолщенный лист, тем меньше эффект от его установки.

Район установки утолщенных и усиленных листов должен занимать все зону повышенной концентрации напряжений, величина напряжений в которой представляет опасность для надежной работы конструкций. А это значит, что площадь сварных листов подкрепления вырезов должна быть такой, чтобы за ее пределами оставались пониженные напряжения, не опасные для работы конструкции. Обычно допускается концентрация напряжений не более 1,5.

Для уменьшения концентрации напряжений концы утолщенных листов необходимо постепенно сводить до толщины окружающих листов, а во избежание концентрального растяжения срединную плоскость телесообразно совмещать со срединной плоскостью соседних листов.

При назначении формы утолщенных и усиленных листов в районе вырезов в палубе, как было показано выше, необходимо ориентироваться на то, какое поперечное сечение принимается за расчетное, и при этом в одном случае устанавливаются сварные утолщенные листы по всей длине выреза и за ним, а в другом — утолщенные листы только в углах вырезов. В обоих случаях сварные листы могут быть и усиленными.

Ориентируясь на поле напряжений вокруг вырезов, утолщенные листы, компенсирующие вырез, необходимо протягивать за габариты выреза и осуществлять скоп продольных срезов по концам не так, как это показано на рис. 138, а так, как это сделано на рис. 139. В первом случае в районе среза остаются повышенные касательные напряжения $\tau_{\text{ср}}$. С точки зрения упрощения технологии формы сварных листов целесообразно иметь подобно той, которую можно видеть на рис. 140.

На рис. 141 показаны утолщенные листы, устанавливаемые в углах кружающего листа наалюминизма. Форма таких листов представлена на рис. 142.

Прямой считать, что круглые вырезы, диаметр которых не превышает 20δ (δ — толщина листа), можно не подкреплять и не компенсировать, так как зона повышенных напряжений для такого выреза распространяется на малую площадь.



Рис. 143. Подкрепление круглых вырезов с двух палубных сварных листов

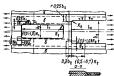


Рис. 144. Подкрепление угла выреза пластинкой, идущие одна за другой

Единичные же крутые вырезы подкрепляются продольными утолщенными листами или усиленными листами из сталей более прочных, чем сталь основной конструкции (рис. 143).

Во всех случаях целесообразно устанавливать накладные листы на вырезках или электроослабляемых, так как под ними часто появляются трещины, которые обнаруживаются только после выхода их из-под накладного листа, когда трещины становятся уже опасными для прочности всей палубы.

Если в палубе выполняются прямоугольные вырезы, идущие один за другим, и имеющие разную ширину (рис. 144), а расстояние между ними такое, что часть выреза меньшей ширины располагается в зоне небольших напряжений за поперечной кромкой большого выреза, то внутренние углы малого выреза можно не подкреплять. Большой же вырез следует подкреплять в зависимости от того, какое поперечное сечение палубы должно быть принято за расчетное. В связи с этим можно обойтись только угловыми утолщенными листами или компенсировать оба выреза установленными по всей их длине утолщенными листами.

5.7. Подкрепление палубных вырезов, работающих в условиях сдвига или сдвига вместе с растяжением

На некоторых современных судах в палубах и бортах имеются большие вырезы, которые во время плавания на взволнованной водной поверхности испытывают большие сдвигающие усилия, действующие одновременно с растягивающими и сжимающими усилиями. Это, в частности, происходит при кручении корпуса.

В условиях одного только чистого сдвига в конструкциях с прямоугольными вырезами напряжения в углах могут значительно превышать напряжения, которые возникают в этих же районах при растяжении или сжатии. При этом форма выреза искажается так, как это показано на рис. 145, в. Распределение напряжения σ_x по продольным

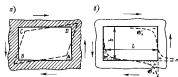


Рис. 145. Искривленные формы выреза в угловых элементах (а) и распределение напряжений σ_x (б)

кромкам выреза можно видеть на рис. 145, б. В углах выреза эти напряжения резко возрастают, по середине длинных продольных кромок они равны нулю и меняют свой знак. В условиях сдвига углы вырезов в пластинках целесообразно скруглять по дуге окружности. При этом максимальные напряжения в углах будут наблюдаться в точках, расположенных по середине дуги скругления.

Так же как и вырезы, работающие в условиях растяжения или сжатия, вырезы, работающие в условиях сдвига, необходимо подкреплять вырезными утолщенными или усиленными листами по их углам (рис. 146), и скругление углов должно быть сделано по радиусу, равному условиям одновременного сдвига и растяжения-сжатия, то их подкрепление должно выполняться путем совмещения элементов, требуемых при действии каждого усилия в отдельности. Форма подкрепляющих листов и их размеры при этом могут быть такими, какие показаны на рис. 146, и скругление углов должно быть сделано по радиусу, равному около 0,15b, т. е. значительно больше, чем это необходимо для вырезов в растягиваемых (сжимаемых) пластинках.

5.8. Целесообразность использования подкосных соединений с целью уменьшения концентрации напряжений в углах вырезов

После установки утолщенных листов в районе углов вырезов в палубе и бортах остаются районы, где концентрация напряжений



Рис. 146. Подкрепление углов конструкции с вырезами, работающие в условиях сдвига

значительно превышает допустимые расчетные напряжения. С целью уменьшения этих повышенных напряжений в сварных конструкциях часто используются подкапные соединения.

На судах типа „Либерти“ Дальневосточного морского пароходства они были использованы в ряде клепальных соединений, которые раньше уже хорошо себя зарекомендовали на судах с клепаными конструкциями. Сухогрузные суда типа „Либерти“ отслужили свой срок, однако за 20 лет эксплуатации в их модернизированных конструкциях никаких повреждений не возникло, что подтверждает правильность принятых решений.

Подкапные клепальные соединения при модернизации конструкций были установлены вдоль прерывистых продольных комингсов и вдоль продольных стенок шахты машинного отделения (рис. 147). Отдельные детали этого подкапного соединения показаны на рис. 148. Одно из судов типа „Либерти“ („Аскольд“) с подкапными соединениями и сейчас можно видеть на причале в бухте Диконд во Владивостоке — оно используется как служебное судно.

Введение клепальных швов вдоль продольных комингсов и по этой же линии между вырезами обеспечивало податливость комингсов относительно палубного настила и переключек между вырезами. В результате этого значительно уменьшилась величина концентрации напряжений у углов люков. Для дополнительного уменьшения концентрации напряжений в углах вырезов от резко обрывающихся комингсов на некоторых судах были установлены комингсы за вырезами.

Введением рассматриваемых выше клепальных соединений были созданы также те условия, как и в клепальных судах, конструкции которых обладали достаточной прочностью. Испытания на пароходе „Колчань“ (1906 г. постройки) показали, что во всех прерывистых связях концентрация напряжений отсутствует. Это можно объяснить тем, что клепальные элементы узлов конструкций при высоких напряжениях получали возможность сдвигаться относительно один другого, а это предотвращало возникновение высокой концентрации напряжений в прерывистых связях. Обязательным условием являлось выполнение клепальных швов по линии, разделяющей прерывную и непрерывную части прерывистой связи. Если клепальное соединение делалось

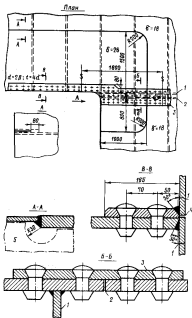


Рис. 147. Подкапные соединения вдоль продольных комингсов люков

1 — гладкое соединение; 2 — рубки; 3 — переборки

Рис. 148. Детали подкапного соединения у угла люка

1 — люк; 2 — пролом в настиле; 3 — накладка; 4 — пролом в комингсе; 5 — стенка борта

параллельно, на некотором расстоянии от разделяющей линии прорезистой связи, то и в клетках конструкций возникала высокая концентрация напряжений (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпротект, 1961, § 21).

Контрольные вопросы

1. Расскажите о поле напряжений в районе сварки в палубе.
2. Каковы методы подкрепления углов палубы?
3. Как выбирают форму скругления углов палубы?
4. Как влиют комменты на подкрепление сварки в палубе?
5. Как влиют подкрепления сварки на концентрацию напряжений?
6. Назовите причины, вызывающие большие напряжения в районе углов палубы при кручении корпуса.
7. Что такое подкрепление соединений и какова их роль в уменьшении концентрации напряжений?

Глава 6. ОГРАЖДЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ПАЛУБ ЛЕРАМИ И ФАЛЬШБОРТАМИ

6.1. Работа ограждений палуб совместно с корпусом судна

Открытые палубы корпуса и надстройки судов с целью безопасного перемещения людей и перемещения грузов должны ограждаться по краям. На современных судах используются ограждения двух типов. Первый тип ограждений — это леера (рис. 149), представляющие собой вертикальные стойки с отверстиями, через которые пропускают трубы, стальные тросы или цепи. Стойки устанавливают на небольшом расстоянии одна от другой и прочно крепят фланцами к палубам или к выступам кромкам листов (рис. 150), образующих у кромок бортов или у краев надстроек наварейсы. В некоторых случаях для установки тросов, сходной или передачи палубного груза на отдельных участках леерные ограждения делают съёмными (см. рис. 150). Второй тип ограждений — фальшборты — представляют собой сплошные листы высотой около 1 м, подкреплённые стойками-кофрами (рис. 151). Нормируемые размеры деталей конструкции фальшборта даны на рис. 152.

По верхней свободной кромке листов фальшбортов устанавливают планшир, обеспечивающий прочность корпуса при действии поперечных нагрузок и служащий перилами при движении людей по палубе (рис. 153). В средней цилиндрической части длины судна фальшборт имеет параллельно продольным комментам палуб (рис. 154) и может так же, как непрерывные продольные комменты, принимать участие

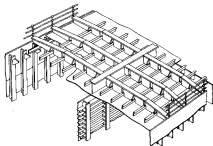


Рис. 149. Ограждение открытой палубы танкера у борта леерами

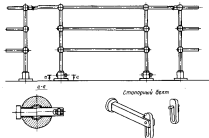


Рис. 150. Съёмные леерные ограждения

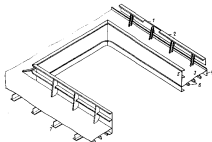


Рис. 151. Ограждение открытой палубы продольными фальшбортами

1 — фальшборт; 2 — планшеты; 3 — палуба; 4 — борт; 5 — козырьковый лист; 6 — присоединение ребра; 7 — борт.

в общем продольном изгибе корпуса, о чем свидетельствуют многочисленные повреждения в фальшбортах первых сварных судов (см. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 397).

Во время плавания на волнованной поверхности фальшборты несколько ограничивают поступление воды на открытые палубы,

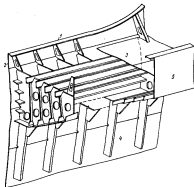


Рис. 153. Поперечная переборка от фальшборта и надстройка с планшетами (перпендикулярно)

1 — планшеты; 2 — фальшборт; 3 — палуба; 4 — борт; 5 — козырьковый лист.

однако у фальшбортов, не присоединенных к кромке ширстрека („плавающие“ фальшборты), через прорез в палубу все же поступает достаточно большое количество воды, и роль таких фальшбортов как ограждения меньшая, чем у фальшбортов, которые присоединены к ширстрек и снабжены вторыми портиками, обычно закрываемыми крышками. Эти отверстия служат для стока больших масс воды, заплескиваемой на палубу.

Обычно все низкобортовые суда и суда, перевозящие груз на верхней палубе, снабжаются фальшбортами, высокобортовые суда (например, пассажирские) имеют плевные ограждения. Последние также делают для быстрого стока воды с палубы на танкерах, которые с грузом имеют небольшой надводный борт. На лесовозах значительную часть грузов перевозят на верхней палубе, и высоту фальшбортов иногда увеличивают до 1,5 м. При качке они воспринимают большие местные поперечные нагрузки от давления и удара волн, а также инерционные усилия от палубного груза.

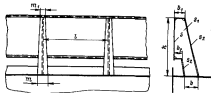


Рис. 152. Нормируемые Правилами Регистра СССР размеры элементов фальшборта

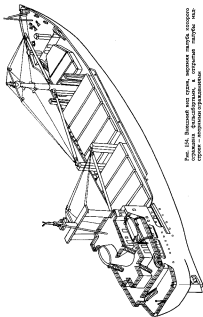


Рис. 154. Внутренний вид стенок, верхняя палуба и основной шпангоут фальшборта, а, оторванная палуба над стоеком — внутренним ограждением

Высота фальшбортов и лверных ограждений регламентируется Правилами Регистра СССР и не должна быть меньше 1 м. Лверные ограждения должны иметь расстояние между вертикальными подкрепляющими стойками не более 1,5 м, и каждая третья стойка должна иметь подпорку — контрборт.

Конструкция фальшбортов состоит из листов толщиной от 3 до 9,0 мм и вертикально устанавливаемых подкрепляющих стоек — контрборт. Стойки находятся в одной поперечной плоскости с бимсами на расстоянии одна от другой не более 1,8 м, а на песоволах и в носовой оконечности — не более 1,2 м. При больших размерах фальшбортов в носовой оконечности стойки целесообразно устанавливать на каждом шпангоуте (при поперечной системе набора бортов). При продольной системе набора бортов стойки фальшборта должны располагаться обязательно в одной плоскости с рамными бимсами, но если расстояние между последними больше 1,5 м, стойки устанавливаются на бимсах, а между бимсами делают дополнительные промежуточные стойки, опирающиеся на короткие подпалубные brackets. Эти brackets при поперечной системе набора бортов идут от шпангоута до верного от борта продольного ребра жесткости на палубе. При продольной системе набора как бортов, так и верхней палубы (рис. 153) brackets под стойки фальшборта устанавливают между ближайшими балками продольного набора по борту и по палубе.

Противоположность фальшбортов на судах без надстройки биса и с надстройкой — рубкой миза — самая большая, так как фальшборты могут располагаться, не прерываясь, от форштевня до актертевня. Носовая часть фальшборта с козырьком воспринимает большие усилия снаружи в развал борта, продолжением которого является фальшборт, а при заливании с носа массы воды динамически действует изнутри. При этом из-за возникающих больших динамических нагрузок участок фальшборта длиной 0,47L от носового перпендикуляра на судах длиной более 30 м приваривают к корме шпрингера сплошным сварным швом. Несмотря на это, на многих судах наблюдается повреждение фальшбортов в виде потери устойчивости стоек и обрыва их от палубного настила, иногда даже с образованием вырывов.

В соответствии с требованиями Правил Регистра СССР [11], с. 210) средний участок фальшборта не должен принимать участия в общем изгибе корпуса. Однако, даже при большом числе подвижных соединений в фальшборте, его отдельные участки между ними продолжают участвовать в общем изгибе корпуса [15]. Поскольку надежные меры, предотвращающие участие фальшборта, Правилами не предусмотрены, то часто допускается неверное расположение подвижных соединений. При большом их количестве местная прочность фальшбортов значительно уменьшается, что ведет к их повреждению при изворотах и грузовых операциях, например, на песоволах.

Правила Регистра СССР рекомендуют устройство продольной переборки фальшборта в средней части по всей его длине и установкой вертикальных подвижных соединений. Таким образом важная продольная связь частично исключается из участия в обеспечении общей

прочности и не используется для увеличения площади верхнего пояса поперечного сечения, что очень существенно для судов с широким раскрытием палуб. Фальшборты, присоединенный к выступающей кромке шпрестека и надстройкам, в составе корпуса мог бы успешно играть роль наливной продольной связи и одновременно обеспечивать свое функциональное назначение. При этом местная прочность фальшборта значительно бы увеличилась.

В настоящее время необходимо пересмотреть принципы проектирования фальшбортов*, возратившись к конструкции, употреблявшейся на клепаных судах. Фальшборты должны присоединяться к шпрестеку или выполняться с ним вместе как один пояс, в котором для стока воды необходимо делать штормовые портики с крышками, закрывающимися под давлением воды, стекающей с палубы за борт [2, 9].

6.2. Подкосные соединения и правила их конструирования

Правила конструирования подкосных соединений. Фальшборты на судах, имеющих надстройки борта и юта, идут между ними и у надстроек заканчиваются переходными киями, поднимающимися до уровня верхней кромки шпрестечного пояса надстроек (рис. 155 и 156) или до верхней кромки фальшборта последних. При коротком баке часть

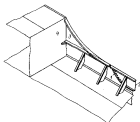


Рис. 155. Подкосные соединения (1) в фальшборте (2) транза за переходной киль (3) надстройки (4)

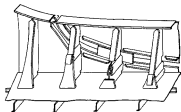


Рис. 156. Подкосные соединения надстройки с подкосными соединениями в стойках фальшборта

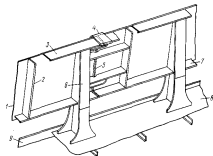


Рис. 157. Подкосные соединения по верхней деке фальшборта

1 — фальшборты; 2 — верхнее ребро; 3 — планшета; 4 — планка безопасности, закрывающая ребор фальшборта; 5 — ребор фальшборта; 6 — киль фальшборта; 7 — горизонтальное ребро; 8 — палуба; 9 — борт

*РД 5.2211-98. Правила конструирования корпусов морских судов.

фальшборта по его длине может присоединяться за боксом к кромке шпреселя.

Оба конца фальшборта отделяются от надстроек подвижными соединениями, образующими переходные клины, с целью исключения фальшборта из совместного изгиба с корпусом судна. С этой же целью в промежуток между двумя подвижными соединениями у надстроек по длине фальшборта устраивают еще несколько вертикальных подвижных соединений. Однако, как было отмечено выше, устройство подвижных соединений полностью не исключает участия фальшбортов в общем продольном изгибе корпуса, а создает некоторые дополнительные трудности при их конструировании. Подвижное соединение — это довольно сложная конструкция (рис. 157).

Так как Регистр СССР требует на длине 0,6 м в средней части не приваривать фальшборт к шпреселю, то это значит, что на длине 0,2 м оконечности его приваривать разрешается, и это всегда нужно делать, так как местная прочность таких фальшбортов значительно больше, чем у «плавающих» (с проемами). В этом случае подвижные соединения должны выполняться так, чтобы в фальшборте появились подвижное соединение в виде своей переходной клины, а переходная клина надстройки переходила бы в фальшборт, постепенно изменяя сечение от надстройки к фальшборту с подвижным соединением на заклепках (рис. 155).

Трудности изготовления фальшбортов заключаются в том, что они разделяются подвижными соединениями на отдельные участки, по концам которых возникают продольные перемещения, в результате чего крайние стойки фальшбортов отрываются от палубной настилки. Для того чтобы предотвратить отрыв крайних стоек, их необходимо делать с подпаянными основаниями или обеспечивать им повышенную прочность, учитывая возможное смещение участков фальшбортов как призматических связей (см.: Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 306, 312).

Перемещения в подвижных соединениях фальшбортов при сильном волнении достаточно велики, и во избежание попадания в них частей тела человека, особенно рук, у планиров эти соединения необходимо закрывать плавающим брезентом (см. рис. 157).

Особенности конструирования фальшбортов лесовозов и судов, швартованных на волнении. Местной прочностю фальшбортов также должно уделяться пристальное внимание, так как до настоящего времени наблюдаются многочисленные повреждения их конструкции грузом, расположенным на верхней палубе [1, § 77]. Все фальшборты при перевозке грузов на верхней палубе используются для крепления к ним найтовов, креплений палубной груз, и с этой точки зрения «плавающие» фальшборты современных судов обладают меньшей прочностью, чем фальшборты клепаемых судов, нижнюю кромку которых всегда прикрепляли к верхней кромке шпреселя, выступавший на 150–200 мм над палубой и образующий ваггерейс. Такие фальшборты целесообразно делать и на современных судах, что позволяет резко увеличить их местную прочность, так как значительная часть усилий

при швартовках судов на волнении и усилие от груза на палубе фальшбортами будет передаваться на шпресель, вместо того чтобы передаваться только на палубный настил.

На рис. 158 показаны усилия P , действующие при швартовке или навалке одного судна на другое. В этих условиях стойка в нижней части у палубы, у внешнего ее конца, отрывается от палубы и части вместе с палубным настилом, образуя отверстие и создавая водотечность, особенно опасную при наличии палубного груза (например, леса), который в море во время шторма не может быть снят для доступа к навалу. Такой образ маловероятен, если фальшборт присоединен к шпреселю (рис. 158, а).

Повреждения фальшбортов, показанные на рис. 158, вызваны навалом. Когда причиной повреждения является давление леса внутри, усилия действуют в сторону наружного борта и реактивные усилия действуют по-другому: образуется внутренняя кромка стойки, и есть вероятность нарыва. Вероятность нарыва будет меньше, если палуба фальшборта приваривать к кромке шпреселя.

На рис. 159 показаны повреждения на лесовозе во время аварийного сброса леса при испытаниях, проводимых кафедрой конструкции судов ДВНУ в море на лесовозе «Пинер Москвитин», который получил крен до 36° на левый борт (рис. 160). Во время сбрасывания леса сломался фальшборт, хотя он имел значительно большие размеры деталей, чем предлагается их иметь по Правилам Регистра СССР. Наиболее сильно разрушились стойки фальшбортов в районе подвижных соединений, потерявшие устойчивость и получившие расщеп упрямой части пояса (рис. 159). Одновременно с разрушением стоек фальшборта разрушились деревянные стойки (стопосы) ограждения каравана леса на верхней палубе, а лес на верхних найтовых поясах

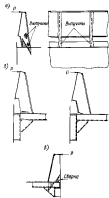


Рис. 158. Усилия, действующие на фальшборт при швартовке и навалке одного судна на другое. а — буксирный у основания стоек; б — верхняя стойка; в — усиленная конструкция



Рис. 159. Поврежденный фальшборт при аварийных сбросах леса



Рис. 160. Авария при сбросе леса за борт

за бортом, не давая судну вернуться в равновесное положение. Способ крепления леса стеновыми из бревен, устанавливаемых в гнезда на палубе и крепящихся к планширю фальшборта, совершенно ненадежен, и уже много лет на лесовозах используется установка металлических стационарных стенов.

Фальшборт у подкастных соединений, работая как прерывистые связи, создает условия для появления срезающих усилий у крайних стоек. Такие усилия на многих судах срезали эти стойки. Характерным примером может служить разрушение стоек на судах типа „Росток“ (рис. 161).

Срезание крайних стоек фальшборта у подкастных соединений лесовозов при общем изгибе уменьшает поперечную прочность стоек, а большие дополнительные поперечные усилия, передаваемые на фальшборт от стенов, вызывают серьезные повреждения стоек и извал

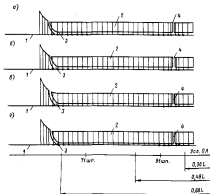


Рис. 161. Повреждение стоек у основания на судах типа „Росток“ а — теплоход „Лужский“; б — теплоход „Лужский“; в — теплоход „Малый“; г — теплоход „Камен“
1 — линия верхней палубы; 2 — фальшборт со стойками; 3 — проемы; 4 — подкастные соединения; 5 — линия стоек; ... — проемы у основания стоек

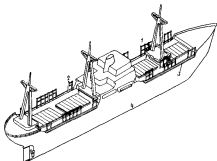


Рис. 162. Общий вид установки стенок

1 — главный стенок; 2 — второстепенный стенок; 3 — фальшборт („пламашей“); 4 — борт

участков фальшбортом за борт [1, с. 441], сопровождаемый потерей части палубного кармаша леса (см. рис. 160).

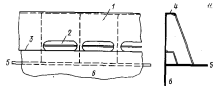


Рис. 163. Фальшборт, присоединенный к шпрестру со шпрестовыми портами (для стока воды)

1 — фальшборт; 2 — шпрестовый портал (отверстие в фальшборте); 3 — шпрестовый сток; 4 — шпрест; 5 — палуба; 6 — борт

В случае установки стационарных или съемных стальных стенок (рис. 162) целесообразно их конструировать так, чтобы поперечные участки воспринимались одновременно стенными и фальшбортами и передавались на палубу и борт. При этом значительного упрощения конструкции можно добиться, если присоединять листы фальшборта по всей их длине к шпресту или к части его длины (рис. 163), обеспечивая сток воды через шпрестовые порталы.

На рис. 164 представлены два стационарных стенок и один съемный стенок, опускаемый сверху в прочный стокерс, закрепленный на листах фальшборта и на листах палубного настила. Стенок имеет зуб, с помощью которого он расклинивается у шпансера.

В настоящее время разработан отраслевой руководящий материал РД 5.2211—90 „Стенки для крепления лесных грузов. Правила проектирования конструкций“. Металлические стенок, расчет и проектирование

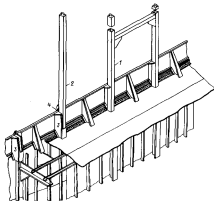


Рис. 164. Стационарные оканты из двух стенок и съемный стенок в районе яруса груза из борта и борта

1 — стационарный стенок; 2 — съемный стенок с зубом; 3 — стокерс (стойки фальшборта, опоры для съемного стенок) с упором для зуба стенок; 4 — палуба

которых будут производиться в соответствии с указанным руководящим документом, обладая необходимой прочностью, будут обеспечивать несмещаемость палубного каравана леса. Аварийный сброс леса при этом исключается, так как он может происходить только при возникновении большого постоянного крена лесовоза вследствие смещения палубного груза, возникающего при разрушении стенок стелы [17].

В практике переноски леса на палубе часто ошибочно делают предположение, что вершины найтовым способом воспринимают нагрузки от палубного каравана. Это неверно, так как эти нагрузки могут восприниматься только стенками вместе с фальшбортом и должны передаваться на основной корпус судна. Найтовы из-за кинематической подвижности не способны воспринимать боковые давления от палубного груза. Роль верхних найтов ограничивается обжатием верхних слоев бревен, и их концы следует крепить в верхней части стенок стелы, а не на палубе. Тогда в случае поломки стенок стелы лес свободно уйдет за борт, а не задержится на верхних найтовах и не накроет лесовоз на борт, как это случилось во время экспериментов на теплоходе «Шокиер Москвы» (см. рис. 166).

Стальные стенки наилучшим образом воспринимают боковые давления, так как их прочность определяется достаточно надежно, а то время как прочность деревянных стенок стелы зависит от многих случайных факторов.

В последние годы на лесовозах широко используются стационарные стелы, которые в нижней части у палубы имеют шарнир, позволяющий укладывать стелы вдоль борта (рис. 165). С целью одновременного поднятия стенок стелы в вертикальное положение они соединяются между собой тросами (рис. 166), которые закрепляются на фиксированных стенках (см. рис. 165).

На баржебуковых лесовозных составах стелы при сбрасывании леса с баржи выходят своим нижним концом из зацепления и поворачиваются в верхней части на шарнирах (рис. 167). Бревна при этом скатываются за борт на воду.

На лесовозах, которым лес приходится перевозить только часть эксплуатационного времени, целесообразно часть стоек фальшборта заменить отрезком трубы, диаметр которой следует брать несколько больше, чем диаметр бревен, идущих на стелу, а в планшете установить специальный направляющий обух (рис. 168). При заклинивании нижнего конца деревянного стелы его можно приподнять ломиком через отверстие в трубе у палубы.

Устройство стационарных, съемных и опускающихся на шарнирах стенок стелы должно предусматривать свободное перемещение фальшборта по продольной прорези при общем изгибе корпуса и свободное опирание на фальшборт в поперечном направлении. Если этого не происходит, то подкажные соединения фальшборта перестают выполнять свою роль, а сам фальшборт станет принимать участие в общем продольном изгибе корпуса.

Действительно, фальшборт, являясь одной из продольных связей



Рис. 166. Замыкающиеся стелы с шарниром у палубы

корпуса судна, однако при наличии прорези принимает только частичное участие в общем продольном изгибе, повторяя изгиб корпуса благодаря присоединению его стоек к палубе. Полное участие в общем изгибе корпуса фальшборт будет принимать в том случае, если он по всей длине или частично приварен к выступающей над палубой кромке шпрингера, однако тогда напряжения в полозках фальшборта будут увеличиваться пропорционально расстоянию от нейтральной оси всего поперечного сечения корпуса вместе с фальшбортом и наличие его может играть положительную роль, если он вместе с другими надпалубными конструкциями (непрерывными продольными косынками)

будет удовлетворять условию $\frac{f(e_1 + e_2)^2}{I} \geq \frac{h}{e_1}$, где f , h , e_2 — площадь,

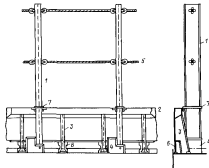


Рис. 165. Стенды для одновременного нагружения стенок с целью удобства проведения грузовых операций

1 — металлокаркасный стенд; 2 — карбоновый планер; 3 — стойка фальшборта; 4 — поперечный элемент; 5 — трап; 6 — шарнир, который шарнирится на палубу; 7 — створ вывеса и возмещение центра тяжести сечения палубных конструкций над верхней палубой; I, I_1 — момент инерции площади поперечного сечения корпуса и расстояние от верхней палубы до нейтральной оси этого сечения в предположении отсутствия надпалубных конструкций.

Рассмотренное во втором издании учебника (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1963, с. 504—507) изменение прочности корпуса от исключения в поперечное сечение эквивалентного бруса только двух фальшбортов и фальшбортов вместе с двумя продольными комингсами показало, что исключение сечения двух фальшбортов и двух комингсов оказывает положительное влияние на прочность всего корпуса при общем продольном изгибе. Следовательно, такое исключение рационально, однако в литературе неоднократно указывалось на опасность исключения фальшбортов в обеспечении прочности корпуса из-за возможного их повреждения [2, 3]. Статистика же повреждений свидетельствует о том, что случаев разрушения фальшбортов на всех типах судов меньше, чем разрушений продольных комингсов [107]. Поэтому если продольные непрерывные комингсы, не опасаясь, всегда исключают в расчетное



Рис. 167. Стенды на баржебуферном постеле

сечение, то тем более нет причин опасаться исключения фальшбортов в общей гибкости корпуса. Необходимо только обеспечить надежное подкрепление вырезов (шторманных портиков) в них. В районе этих вырезов, даже на клетчатых судах, наблюдались трещины (рис. 168, а) в углах шторманных портиков и планшере над вырезами (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 321). В обоих случаях трещины возникали в вырезах, расположенных в районе переходных книц фальшбортов. Эти кницы шли от фальшбортов к более

высоким продольным стенкам надстроек. По-прежнему высказывалось тем, что в переходных кницах возникали поперечные напряжения, как и у всякой, даже плохо закатанной, привинтой связи.

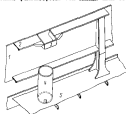


Рис. 168. Стандарт и брус для испытаний стенок из бруса
1 — фальшборт; 2 — планер; 3 — брус; 4 — шарнир; 5 — палуба

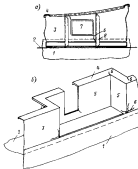


Рис. 169. Повреждения в фальшбортах: а — фальшборт со шпирцевыми перемычками; б — фальшборт с угловыми

1 — борт; 2 — галерея; 3 — фальшборт; 4 — планшир; 5 — углы в фальшборте; 6 — трещины; 7 — шпирцевой портал; (номерами) 8 — стоека

Трещины в фальшбортах также появлялись из-за резкого их обрыва у дни парадных трапов (рис. 169, б), которые целесообразней спускать не с главной палубы, а с палубы юта, а в низах делать подложные соединения (см. Бороваков Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 324).

Две последних примера повреждений фальшбортов свидетельствуют о работе участков фальшбортов, присоединенных к шпрстреку при нарушении правил проектирования прерывистых связей. Если эти правила будут соблюдены, то можно все основания считать, что фальшборт при прочном присоединении его к шпрстреку будет при общем изгибе корпуса работать так же надежно, как продольные непрерывные конструкции.

С целью определения напряжений в фальшбортах, не присоединенных к шпрстреку, можно воспользоваться предложениями, приведенными в монографии [106, § 23]. Сплошную переборку в фальшборте можно рассматривать как сшитый пояс бортовой обшивки с целью его замены. Напряжение в поперечных сечениях фальшборта будет меняться по его

длине в зависимости от изменения изгибающих моментов в поперечных сечениях корпуса судна.

В настоящее время разработаны предложения о проектировании фальшбортов с подложными соединениями, которые позволяют изменить местоположения подложных соединений в фальшборте и установить усиления, действующие на крайние стойки в районе подложных соединений, что дает возможность обоснованно проектировать «плавающие» фальшборты любого судна. До получения этих результатов местоположение и число подложных соединений назначались без достаточных оснований, что приводило к ряду повреждений, возникавших в фальшбортах. Проведенные исследования показали влияние конструктивного оформления фальшбортов на степень его участия в общем продольном изгибе корпуса судна и подтвердили надежность работы деталей конструкций фальшбортов.

Особое внимание необходимо уделять фальшбортам судов, перевозящих лес на палубе, одновременно учитывая наличие усилий от общего продольного изгиба корпуса и местные поперечные усилия от палубного груза при качке. Как уже отмечалось, фальшборт таких судов целесообразно присоединять по всей длине, однако до сих пор этого не делают, что приводит к ослаблению поперечной прочности фальшборта. Для увеличения последней при «плавающих» фальшбортах можно рекомендовать свободное опирание их стоек на выступающую кромку шпрстрека, как это было сделано на теплоходе «Электросталь» (рис. 170). На рисунке можно видеть податливую стойку фальшборта, устанавливаемую непосредственно у подложного соединения; лист фальшборта с направляющими полосами свободно опирается на кромку шпрстрека, направляющие с двух сторон листа обеспечивают его опирание в случае перемещения стоек под давлением караула леса.

Несмотря на ряд конструктивных мер, увеличивающих прочность «плавающих» фальшбортов со сплошной переборкой, важно назначить рациональное количество подложных соединений. Имеющиеся в нормативных документах рекомендации по определению числа подложных соединений для оценки напряженного состояния фальшборта при общем продольном изгибе судна совершенно недостаточно. В результате этого почти все фальшборты

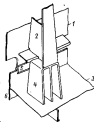


Рис. 170. Свободное опирание на шпрстрек фальшборта, имеющего податливую в продольном направлении конструкцию стоек у подложного соединения

1 — фальшборт; 2 — стойка; 3 — палуба; 4 — подложная конструкция; 5 — шпрстрек; 6 — шпрстрек

с разным числом подвижных соединений во время эксплуатации получают повреждение.

Длину фальшборта между подвижными соединениями в промежуток между обязательными крайними подвижными соединениями у их концов у надстроек определяют по формуле [19]: $l = (1/\lambda) \ln[(E/\gamma E_0)/0,65]$, где $\lambda = \sqrt{k\gamma}$; $\gamma = 1/EF_1$; E — модуль упругости при растяжении; F_1 — площадь сечения стойки у ее основания; F_2 — площадь поперечного сечения фальшборта; k — коэффициент жесткости фальшборта и пива.

Таким образом, зная размеры фальшборта, можно найти предельную длину его участка между подвижными соединениями.

Для расчета напряженного состояния фальшборта, только частично участвующего в общем изгибе, используют условие обеспечения прочности на срез стоек фальшборта у подвижных соединений по РД.3.221—90.

Рекомендации по проектированию «плавающих» фальшбортов и подвижных соединений в них окончательно можно суммировать следующим образом: сплошные прорезы должны заканчиваться подвижными соединениями около надстроек, а минимально необходимое количество промежуточных подвижных соединений следует выбирать по специальной методике [19, 21].

Контрольные вопросы

1. Раскажите о конструкциях ограждений палуб у бортов.
2. Каковы условия работы фальшбортов и их верхних ограждений? Когда и как целесообразно их усиливать?
3. Каковы особенности конструкций фальшбортов лесовозов?
4. Каковы возможности использования фальшбортов как прочных связей при общем изгибе корпуса?
5. Как передаются усилия на фальшборты от палубного груза на палубу и борта?
6. Какова роль подвижных соединений в фальшбортах и их конструкциях?
7. Что Вы знаете о станокот лесовозов и различных методах их крепления к фальшборту?
8. Какие бывают веревы в фальшбортах для связи верев с палубой, каковы их форма и размеры?

Глава 7. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ БОРТОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

7.1. Системы набора бортовых перекрытий и роль отдельных балок

Проектирование конструкций бортовых перекрытий в большей степени, чем проектирование конструкций днища и палубы,

определяется не только соображениями прочности, но и значительной степенью и ограничениями по жесткости, коррозионному износу, а также технологическими факторами и родом перевозимого судном груза.

С точки зрения обеспечения общей продольной прочности корпуса продольные связи бортовых перекрытий играют заметно меньшую роль по сравнению со связями верхней палубы и днища, и только продольные связи, расположенные вблизи верхней палубы и у днища, могут рассматриваться как важные продольные связи поперечного сечения. Все другие бортовые связи в основном обеспечивают местную прочность корпуса.

Местную прочность для бортов, так же как и для других корпусных конструкций, оценивают по принятым в практике судостроения расчетным схемам, которые исключают расчетные нагрузки и методы определения напряжений. Как показывает эксплуатацию судов, эти схемы достаточно правильно учитывают основные факторы, влияющие на работу отдельных элементов перекрытий.

В практике судостроения на сухогрузных судах бортовые перекрытия, как правило, имеют поперечную систему набора, и их местная прочность обеспечивается часто стоящими планшетами, работавшими вместе с поперечными балками, прилегающей к балкам палубы. На судах длиной менее 100 м поперечная система набора принимается для палубы и днища, и тогда две бортовые ветви планшета (собственно

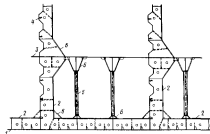


Рис. 171. Горизонтальная рама с распорками в бортовом отсеке судна

1 — борт; 2 — бортовой стоежор и димид; 3 — продольная переборка; 4 — поперечная переборка; 5 — распорка; 6 — планка

шпангоуты) вместе с бимсом по палубе и флором по дну составляют одну раму и работают в ее составе.

При отсутствии ледовых подкреплений прочность бортовых перекрытий и отдельных их связей проверяют на действие гидростатической нагрузки при осадке по действующую затопление, а также на волновой напор при качке на волнении и на действие ударов льда.

Бортовые перекрытия почти всех сухогрузных судов набирают по поперечной системе набора, что позволяет лучше обеспечивать местную прочность, так как основные балки набора идут по борту вертикально — параллельно меньшей стороне опорного контура перекрытия. При этом местная прочность обеспечивается назначением размеров шпангоутов, работающих в составе простой или сложной (при нескольких палубах) шпангоутных рам.

Конструкции бортов судов без ледовых подкреплений значительно отличаются от таковых у судов ледового плавания и дедеколов, так как на перекрытия судов ледового плавания действуют значительные

нагрузки, распределенные на небольшой части дном или сосредоточенные.

Прочность регулярного поперечного набора, состоящего только из одних шпангоутов, оценивают путем расчета закрытых шпангоутных рам (два шпангоута, бимс, флор) или открытых шпангоутных рам, размещенных в районе палубных грузовых люков (два шпангоута, два попутных, флор).

Элементы шпангоутной рамы под палубой, у дна и в вырезе в палубе образуют с помощью клин и бракет жесткие узлы.

Многочисленные работы, выполненные с целью анализа работы шпангоутных рам, позволяют установить, что длину пролетов отдельных балок, составляющих раму, можно принимать как расстояние между точками пересечения нейтральных осей этих балок, а переменность сечения балок в районе установки клин и бракет не учитывать из-за их незначительного влияния на прочность корпуса. Прочность шпангоутов рассчитывают на действие поперечной нагрузки при отсутствии нагрузки на бимсы. Прочность шпангоутов в составе рамы должна определяться для случая нахождения судна на тихой воде при осадке по грузовую затопление и при условном напоре с учетом волновых давлений.

Поперечная система набора бортов танкеров включает часто стоящие шпангоуты и пересекающие их бортовые стрингеры, которые, соединяясь с шельфами поперечных переборок вместе с шельфами продольных переборок, образуют горизонтальную раму, подкрепленную горизонтальными поперечными распорками (рис. 171).

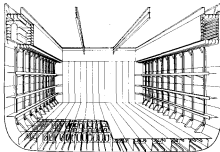


Рис. 171. Бортовое перекрытие контейнеровозов

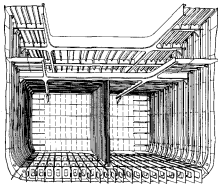


Рис. 172. Сухогрузное двукорпусное судно со смешанной системой набора Ю. А. Шенянского с попутными балками для шельфов-бортов в ДТ при перевозке сыпучих грузов

Расчетными нагрузками для бортовых стрингеров являются нагрузки с внешней стороны борта при пустых бортовых и средних танках. Продольная система набора бортов танкеров имеет горизонтальные ребра жесткости, которые опираются на рамные шпангоуты. Она используется на многих круизнотонажных судах, имеющих меньшее расстояние между поперечными переборками, чем расстояние между палубой и дном.

Бортовые перекрытия танкеров с поперечной системой набора при установке рамных шпангоутов и бортовых стрингеров получили широкое распространение (рис. 171) и особенно в последние годы. На бортовых стрингерах приходится существенно меньшая нагрузка в результате установки рамных шпангоутов, которые должны быть более жесткими, чем стрингеры. Рамные шпангоуты таких бортовых перекрытий работают в более благоприятных условиях, чем при продольной системе набора.

Бортовые перекрытия разных типов судов представляют собой вертикальные или несколько наклонные стенки, обеспечивающие герметичность судов со стороны бортов. В зависимости от назначения судна и перевозимого им груза конструктивное оформление бортовых перекрытий может значительно меняться. На рис. 172 можно видеть бортовые перекрытия двухпалубного сухогрузного судна, у которого обычная поперечная система набора бортов в нижней части переходит с продольной системой набора дна, а в верхней его части — с обычной продольной системой верхней палубы и в промежутке опирается на нижнюю палубу, имеющую поперечную систему набора. Борта по длине разбиваются на отдельные перекрытия поперечными переборками, которые вместе с палубами и дном являются опорными контурами для бортовых перекрытий.

На рис. 174 представлены бортовые перекрытия с поперечной системой набора контейнеровоза со стропными грузоподъемными крюками и продольной системой набора палубы и дна. Под палубой находится коридор, по всем плоскостям которого установлены продольные балки; часть из них приварена к полскам. Это позволяет увеличить площадь сечения узкого верхнего пояса поперечных сечений корпуса.

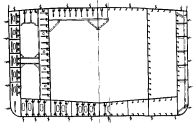
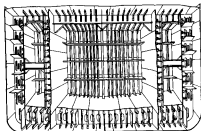


Рис. 175. Бортовые перекрытия танкера заднего плавающего типа „Самолет” с двойными бортами и двойными дном

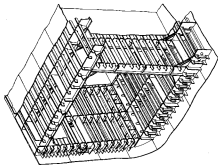


Рис. 176. Воротное перекрытие узла для АЭС

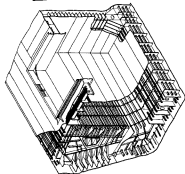


Рис. 177. Тяжелый лопастной планетарный и зубчатый бортовые и о про-
вольный системный набор

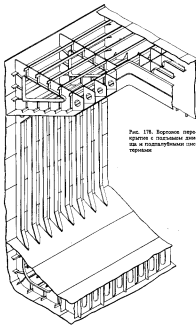


Рис. 178. Воротное пере-
крытие с ползунком дви-
жущим и подпружиненным эле-
ментом

Такие коридоры с продольным набором делятся на контейнерные с двойными бортами (рис. 174).

На рис. 175 показаны двойные борта танкера ледового плавания типа „Самолетор“, широко используемого в Арктике, а на рис. 176 изображено бортовое перекрытие рудовоза для Арктики.

Как видно из рис. 175 и 176, у судов с двойными бортами для плавания по льдам система набора поперечная, однако для танкеров с двойными бортами используется и продольная система (рис. 177), которая для восприятия местных ледовых нагрузок считается менее рациональной, однако единообразие системы набора перекрытий борта палубы, двойного дна и продольных переборок судна технологически весьма целесообразно.

Танкеры ледового плавания с двойным дном и двойными бортами отвечают повышенным экологическим требованиям к судам, перевозящим жидкие грузы.

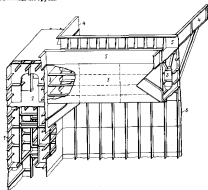


Рис. 176. Подпалубный бортовой коридор судна с двойными бортами, соединенный с коридором противолобного борта и палубными коридорами, используемый поперечной переборкой

1 — борт; 2 — палуба продольного коридора; 3 — стена расширенного коридора; 4 — продольный перебор; 5 — палубный перебор; 6 — расширенная переборка

Как было отмечено при рассмотрении рисунков, помещенных в начале этой главы, конструкция бортов значительно отличается для судов разных назначений и часто становится причиной появления своеобразных конструктивных решений палубы и дна. На судах для

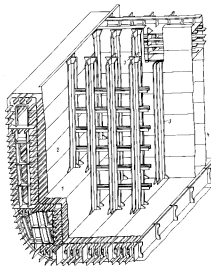


Рис. 180. Борт контейнеровоза с подпалубным коридором и акустической защитой, образующей плоскость для укладки контейнеров

1 — палуба; 2 — второй борт; 3 — конструкция для укладки контейнеров; 4 — двойная поперечная переборка

перевозки навалочных грузов, например, в верхней части борта устраивают подпалубные цистермы с целью уменьшения свободной поверхности груза в трюмах (рис. 178), а в нижней — бортовые скосы (скуловые цистермы) для сброса груза под пролет мачт.

На контейнеровозах и других судах с широким раскрытием надув для увеличения поперечной прочности и прочности при скручивании предусматривают подпалубные коридоры, которые соединяются поперечными коридорами (рис. 179), а в нижней части в районе скуловых образований в оконечностях делают скуловые цистермы (рис. 180) с целью образования площадок для контейнеров, там где острые поперечные сечения корпусов не позволяют устанавливать контейнеры.

Поперечная система бортовых перекрытий с бортовыми стрингерами и рамными шпангоутами, выступающими за габариты основного набора (шпангоутов), создает определенные трудности при укладке генеральных грузов, занимает место у борта. Однако такая поперечная система набора бортов как на сухогрузных судах (см. рис. 176), так и на танкерах (см. том 1, рис. 67) позволяет уменьшить массу перекрытий. При этом стрингеры не только передают нагрузку на рамные шпангоуты, но и несколько их разгружают [75, с. 328].

На сухогрузных судах поперечная система со стрингерами и рамными шпангоутами может успешно использоваться во всех судах с двойными бортами (на ледоколах; судах ледового плавания; на судах, швартующихся в море друг к другу; на танкерах и ледоколах ледового плавания). Эта система набора может использоваться и для обычных танкеров.

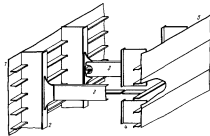


Рис. 181. Распорки в бортовых отсеках танкера, опирающиеся на рамные шпангоуты и рамные стойки продольной переборки

1 — борт; 2 — рамный шпангоут; 3 — распорка; 4 — рамная стойка; 5 — продольная переборка

На судах, перевозящих жидкие грузы, между бортами и продольными переборками устанавливают дополнительные связи — распорки (рис. 181), переключатели бортов и переборки между собой, то поперечная система набора со стрингерами и рамными шпангоутами приобретает еще дополнительные преимущества. Такие же связи-распорки используются на танкерах и при продольной системе набора бортов, а бортовые стрингеры могут вообще отсутствовать (см. рис. 181).

7.2. Конструирование перекрытий двойных бортов

Конструкция двойных бортов судов ледового плавания и ледоколов, а также судов, швартующихся в море на волнении, обеспечивает повышение их живучести, так как при повреждении наружного борта внутренний борт остается водонепроницаемым, что неоднократно спасало суда от гибели и от подтопления грузов. В то же время известны многочисленные случаи гибели судов в Арктике („Челюскин“, „Моссовет“, „Нина Сагайдак“ и др.) от пробоя.

У судов с двойными бортами, швартующихся на волнении, должна быть обеспечена непроводимость внутреннего борта. Для этого необходимо подобрать междубортные конструкции так, чтобы они при повреждении наружного борта, потеряв устойчивость, обеспечивали при дальнейшем их деформировании поглощение энергии внешнего воздействия и исключали повреждение внутреннего борта. Тогда груз в трюмах не будет подточен, а изоляция и трубопроводы, смонтированные на внутреннем борту, не потребуют ремонта. На некоторых судах объем работ, сопутствующих основному ремонту бортовых перекрытий, по демонтажу и монтажу трубопроводов и изоляции иногда составляет до 70 % общего ремонта данных конструкций.

На рис. 182 показана конструкция двойных бортов плавучей базы при стрингерной системе их набора. Такие же конструкции используются для судов-смазочниц и транспортных рефрижераторов, швартующихся на волнении. Наличие двойных бортов такой конструкции, хотя и позволяет повысить надежность и уменьшить объем сопутствующих работ в результате повреждений вторых бортов, не дает возможности полностью избежать повреждений последних и восстановить судовыми средствами прочность поврежденных бортов.

Представляется целесообразной объемная конструкция двойных бортов (рис. 183) с несложными стрингерами по наружному и внутреннему бортам и соединяющими их распорками. Эти распорки, деформируясь вместе с наружным бортом, должны потерять устойчивость при превышении расчетных нагрузок на борт, не повреждая при этом вторых бортов. Поврежденные распорки могут срезаться и заменяться в рейсе более короткими (с учетом деформаций наружного борта) запасными конструкциями [12], заранее подготовленными на судне.

На таком принципе поглощения энергии при столкновении судов было основано конструирование бортовой противоминной защиты линкоров и линейных кораблей начала века. Оно использовано на

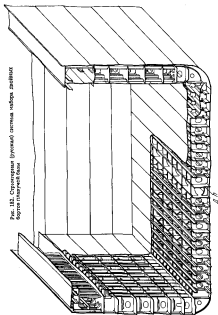


Рис. 185. Обобщенная конструкция двойных бортов с раздвоенным и листовым с ребрами при потере устойчивости от продольного растяжения Н-групок

I — крайняя граница листового пояса; II — конструктивный контур; III — линия изгиба; IV — граница листового пояса; V — второе дно

современных судах с атомными реакторами, которые должны быть надежно защищены в случае проникающего удара воды другого судна в борт атомного (рис. 184). Сложная задача по ограждению помещения реакторного отсека успешно решена при проектировании и строительстве отечественного атомного ледокола «Северодвинск».

На ледоколах для увеличения прочности бортов были установлены распорки на ледоколах типа «Гид» (см. Воробанов М. В. Конструкция корпуса морских судов. П. Судостроение, 1965, рис. 93). Они представляли собой наклонные трубчатые шпалеры.

Такие распорки в виде бревен всегда устанавливали на судах со слабым корпусом для увеличения прочности бортов при плавании во льдах. Даже на современных судах, например на дизель-электрических «Михаил Соколов» во время спуска его в Антарктиде ледоколом «Владивосток», бревна использовали в качестве распорок для увеличения прочности бортов при сильном сжатии корпуса. На современных атомных (рис. 185) и дизельных ледоколах роль таких распорок играют многочисленные горизонтальные платформы, балки поперечного набора которых вместе с присоединенными поперечными воспринимают основные усилия, действующие со стороны борта. Распорки, устанавливаемые на всех рассмотренных судах, являются поперечными связями, работающими в основном на сжатие. Так как они жестко связаны

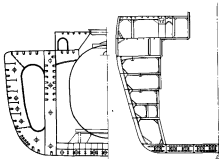


Рис. 184. Ограждение реакторного отсека со стороны борта

Рис. 185. Платформы атомного ледокола, воспринимающие боковые воздействия при работе

с балками бортового набора и балками переборок, в сечении распорок появляются изгибающие моменты, которые могут вызвать в них значительные поперечные. Площадь сечения распорок выбирают по величине осевой сжимающей силы, и с целью обеспечения их устойчивости регламентируется величина наименьшего момента инерции поперечного сечения [111, с. 162].

Правила Регистра СССР устанавливают площадь поперечного сечения распорок для бортовых отсеков танкеров. Они должны располагаться в бортовых танках в плоскости каждого рамного шпангоута (рис. 186).

Для судов, плавающих во льдах, условие устойчивости распорок с площадью поперечного сечения F выражается формулой $\sigma_{кр} = \pi^2 EI / b^2 F > \sigma_0$, где π — коэффициент, учитывающий отступление от закона Гука; E — модуль упругости материала; b — пролет распорки; σ_0 — коэффициент, показывающий долю от предела текучести критических напряжений в распорке; I — момент инерции распорок в плоскости наименьшей жесткости; σ_0 — предел текучести материала.

При использовании двойных бортов на морских судах и судах смешанного плавания расстояние между поперечными водонепроница-

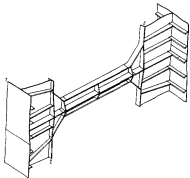


Рис. 186. Распорки в бортовом отсеке танкера

1 — борт; 2 — рамный шпангоут; 3 — поперечная переборка; 4 — продольная переборка

емыми переборками можно значительно увеличить, а в некоторых случаях обеспечить непотопляемость судна устройством двойных бортов, ограничиваясь установкой переборок только в оконечностях.

Конструкции двойных бортов могут несколько различаться в зависимости от формы поперечного сечения судна. Наиболее часто встречаются вертикальные вторые борта (с вертикальными и наклонными наружными бортами), однако на речных судах и судах смешанного плавания, на судах для перевозки навалочных грузов часто второй борт делают наклонным с целью осадки грузов на настил второго дека.

Морские суда с наклонными двойными бортами и широким раскрытием палуб в нашей стране появились в 1936 г. и получили название амстердамских ледовозов, однако из-за несовершенства законов закрытий об этом типе судов забыли*. Значительно позже на смену им пришли суда типа "Полтава" и "Безбож" и отчасти себя зарекомендовали, о чем говорит тот факт, что для заграницы было построено свыше 30 судов такого типа.

7.3. Расчетное определение элементов бортовых перекрытий

Если обратиться к практике эксплуатации судов разных типов в различных условиях, то она свидетельствует о достаточности (в основном) требований, которые предъявляются правилами классификационных обществ и, в частности, Регистром СССР к прочности корпусных конструкций. Однако вопросы обеспечения прочности ледовозов и судов ледового плавания, связанные с организацией продленной и круглогодичной эксплуатации в Западной и Восточной Арктике, с зимней навигацией в очень тропных зимних льдах северных морей требуют нового подхода к обеспечению прочности бортов.

Увеличивается масса ледоколов, а в связи с этим растет и скорость проводки караванов во льдах. Необходимо определять новые внешние нагрузки, действующие на корпус судов, модернизировать конструкции судов, построенных ранее для более легких условий плавания, вводить усовершенствования, связанные с новыми способами ковки льда и конструктивными изменениями, повышающими эффективность работы судов во льдах и их живучесть (двойные борта), а также с целью обеспечения прочности при изменении тактики ледового одиночного плавания и плавания в караванах (например, толкание ледоколами проводимых во льдах судов).

Суда, не плавающие во льдах, получают, как показывает статистика [106, 107], наибольшее количество повреждений в бортовых перекрытиях в результате швартовок на волнении в море, что характерно для нескольких классов промысловых и транспортных судов России,

все шире осваивающих Маровой океан*. Кроме того, выбор размеров многих связей бортовых перекрытий обуславливается не только соображениями прочности, но иногда существенную роль играют вопросы коррозионного износа, истирания краями, технологические факторы и ограничения по жесткости.

Местную прочность бортов, как любого перекрытия, оценивают по принятым в судостроении расчетным схемам, включающим в себя выбор расчетных нагрузок и методов определения напряжений в отдельных связях и узлах. Так как во многих случаях расчетные нагрузки выбирают весьма приблизительно, а расчетные методы определения напряжений основываются на ряде допущений, результаты определения напряжений и бортовых конструкций могут значительно отличаться от фактических. В этом приходится убеждаться после получения повреждений, однако и по полученным повреждениям до настоящего времени не всегда удается выявить величину действующих нагрузок. Процесс этот сложный и требует серьезных экспериментальных и теоретических исследований, однако необходимо стремиться, чтобы расчетные схемы с возможно большей точностью учитывали основные факторы, влияющие на работу конструкций.

Расчет бортовых перекрытий по Нормам прочности [96, с. 78] производится как расчет системы пересекающихся балок, состоящих из обычных шпангоутов, рамных шпангоутов и бортовых стрингеров. Палубы и поперечные переборки, на которые опираются эти три системы связей, рассматриваются как жесткие опоры для бортовых перекрытий.

На судах с горизонтальной погрузкой, у которых поперечные переборки устанавливаются на очень большом расстоянии одна от другой, может возникнуть необходимость учета влияния деформаций палуб в их плоскости на напряженное состояние бортовых перекрытий.

Нормы прочности дают расчетные значения высот волн h_1 и h_2 (см. том I, диаграмма в рис. 17), причем h_1 — среднестатистическая высота волны, соответствующая эксплуатационной нагрузке обеспеченностью 10^{-5} , а h_2 — высота волны при экстремальных нагрузках обеспеченностью 10^{-6} . Называют коэффициенты запаса относительно нагрузок, при достижении которых исчерпывается всякая способность связей (например, шпангоутов).

При поперечной системе набора, являющейся основной для бортовых перекрытий, использует три варианта набора:

1) однородный (монотонный) набор, состоящий из основных шпангоутов, опирающихся на палубу и днище или на конструкции, прочно соединенные с днищем и палубой (рис. 187);

*Браунер С. А. Протекторирование и изоляция днища и бортов швартовных отрезков транспортных судов в ледовых условиях // Проектирование, теория и прочность судов, плавающих во льдах / Меллер, сб. ГИИ. Горький: ГИИ, 1998.

*Браунер С. А. Морские суда группы типа «Полтава», 1937 (рис. 68, 69); Гусов М. Е. Конструкция корпуса судов Ч. I. Л.—М.: ОНТИ, 1937 (с. 336—338).

2) набор из базовых и рамных шпангоутов, устанавливаемых через тричетыре основных шпангоута, и из бортовых стрингеров, которые вместе с деталями крепления показаны на рис. 188;

3) набор в районе ледовых усилений, состоящий из основных и промежуточных шпангоутов, идущих только в районе действия ледовых нагрузок и опирающихся на промежуточные палубы (рис. 189).

Количество рамных шпангоутов и бортовых стрингеров в перекрытии может меняться в зависимости от соотношения его сторон и характера действующей нагрузки. Совместная работа листов наружной обшивки и балок набора разных направлений обеспечивает требуемую прочность перекрытия и устойчивость пластин, находящихся в его составе.

При расчете замкнутого шпангоутного рама (два шпангоута, бимс и флор), в углах которых имеются подпалубные и скуловые кницы, величина изгибающих моментов поперечных сечений шпангоутов в районе скуты получается больше, чем в предположении, что шпангоут работает отдельно и считается жестко заделанным. Однако увеличение поперечных сечений шпангоутов путем установкой скуловых книц позволяет безопасно воспринимать эти увеличенные опорные моменты. В результате этого увеличения сечения шпангоута у опоры происходит уменьшение расчетного изгибающего момента в пролете

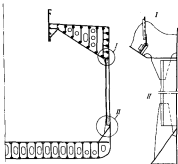


Рис. 187. Бортовой набор судна для перевозки навалочных грузов, состоящий из основных шпангоутов между подпалубной декой и скуловым опором

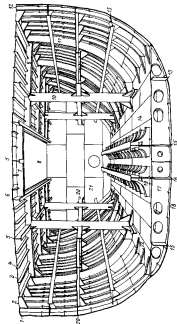


Рис. 188. Бортовой переборки в миллиметровом исполнении

1 — флор; 2 — подпалубная кница; 3 — палуба; 4 — скользящий реборс; 5 — маршевый реборс; 6 — карманный шпангоут; 7 — бимс шпангоут; 8 — килевая; 9 — рамный бимс; 10 — палубный; 11 — рамный шпангоут; 12 — основной шпангоут; 13 — основной шпангоут; 14 — второй лист; 15 — арочный стрингер; 16 — вертикальный торец; 17 — флор; 18 — декинг; 19 — миллиметровый фланец; 20 — шпангоут; 21 — миллиметровый переборка; 22 — скуловая кница

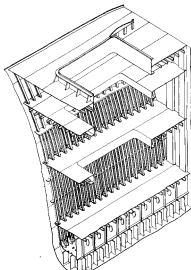


Рис. 189. Бортовое перекрытие с озоноканалом и промежуточные шпангоуты

шпангоута. Если бы озоноканалы были убраны и в районе скулы было выполнено бесканальное соединение, это способствовало бы увеличению расчетного жогбжающего момента в пролете шпангоута, что привело бы к увеличению требуемого момента сопротивления его расчетного сечения, а следовательно, к увеличению массы каждого шпангоута и всего бортового перекрытия.

7.4. Конструкция бортовых перекрытий в машинном отделении

Конструкция бортовых перекрытий в машинном и котельном отделениях вне зависимости от того, располагаются ли они в середине длины судна или в оконечностях, должны иметь специальные подкрепления. Эти подкрепления, так же как подкрепления на днище, должны безопасно воспринимать дополнительные усилия, передаваемые на корпус работающими главными и вспомогательными механизмами. Кроме того, на бортовые перекрытия действуют усилия от навешиваемых на них многочисленных трубопроводов и различного оборудования.

Во время качки на борта через распорные туги, соединяющие цилиндры главных механизмов с бортами, передаются значительные нагрузки. Эти туги имеют также назначение уменьшать ускорения от вибрации на фундаментные болты и фундаменты главных механизмов.

На рис. 190 показано общее расположение главных механизмов в кормовой части оконечности судна.

На большинстве современных судов машинное отделение располагается в самой корме у актеризированной переборки или на некотором расстоянии от кормы (промежуточное расположение). Как было показано раньше, главные механизмы монтируют на фундаментах, устанавливаемых на днищные перекрытия, а вспомогательные механизмы — на ряде платформ, разбивающих по высоте все пространство машинного отделения на отдельные помещения. На платформах оборудуют посты управления и мастерские. Платформы выполняют роль мощных бортовых стрингеров, увеличивающих местную прочность бортов и служащих надежной опорой для бортового набора. Они поддерживаются пиллерсами (рис. 191), которые передают нагрузки на нижерасположенные платформы и на днищные перекрытия, на которых смонтированы фундаменты главных двигателей.

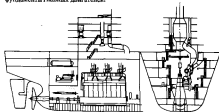


Рис. 190. Общее расположение механизмов фундаментов и платформ в машинном отделении

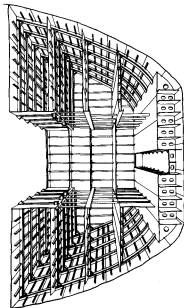


Рис. 190. Бортовые перекрытия с продольной системой набора в машинном отделении, швта и платформе

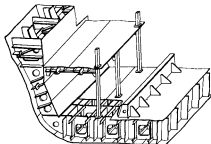


Рис. 191. Двойной борт в машинном отделении

На рис. 188 представлена конструкция машинного отделения, бортовые перекрытия которого имеют поперечную систему набора, состоящую из рамных шпангоутов, между последними установлено три обыкновенных шпангоута. Кроме этого, между обыкновенными шпангоутами поставлены промежуточные шпангоуты в районе ледового пояса. В районе машинного отделения бортовой набор усиливается бортовыми стрингерами. По Правилам Регистра СССР рамные шпангоуты в машинном отделении должны устанавливаться на расстоянии не более пяти шпаций или 3 м в зависимости от того, что меньше, а бортовые стрингеры — на расстоянии не более 2,5 м (рис. 192). На педоколах и судах ледового плавания с целью большей безопасности при плавании по льдам в машинном отделении делают двойные борты (см. рис. 192).

В большинстве случаев в машинном отделении борты имеют поперечную систему набора, однако встречается и продольная система набора. На рис. 193 показана конструкция в машинном отделении небольшого судна без двойного дна. Пересечение поперечных рамных шпангоутов и бортовых стрингеров в машинном отделении осуществляется с помощью крестообразных сварных листов (рис. 194).

7.5. Детали соединения и узлы конструкций бортовых перекрытий на судах разных конструктивных типов

Скелетные кницы все чаще убирают совсем, заменяя их продольными кницами, которые на сухогрузных судах не мешают размещению груза у бортов, или кницы шпангоутов пропускают через настил

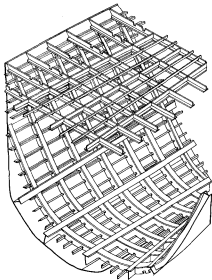


Рис. 199. Продольная система набора в машинном отделении на судне без второго дна.

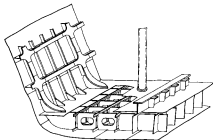


Рис. 184. Крестообразный сварной лист соединяет плосков бортового стрингера и рамного шпангоута.

двойного дна (рис. 195). Шпангоуты обычно пропускают через отверстия специальной формы, выполненные в промежуточных водонепроницаемых палубах и стрингерах таким образом, как это показано на рис. 196, и с помощью коротких листов обеспечивают дополнительную опору колобно тому, как это показано на этом же рисунке для продольного набора палуб.

При желании обеспечить водонепроницаемость палубы у проходов шпангоутов устанавливают заглушки (см. рис. 195). Оригинальное бесконечное соединение в районе скулы и его детали можно видеть на рис. 197. Такая конструкция осуществлена на одном из судов многоранной постройки.

На рис. 198 даны детали конструкций танкера с двойным дном и двумя продольными переборками. Борты и продольные переборки переделаны на двух уровнях распорками, а при продольной системе их набора бортовые стрингеры отсутствуют. При поперечной системе набора бортов и продольной системе палубных перекрытий в случае наличия рамных шпангоутов вместо установок книц часто осуществляют планый переход от рамных шпангоутов к рамным брусам (рис. 199).

Подпалубные коридоры у бортов контейнеровозов при продольной системе набора перекрытий палуб и бортов имеют водонепроницаемые переборки и рамные шпангоуты, а в промежутке между ними устанавливают brackets (рис. 200). Такие же конструкции образуют и наклонные подпалубные штерны на судах для перевозки насыпных грузов.

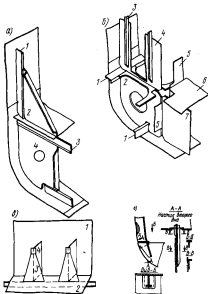


Рис. 196. События на конуре катастрофы у дельфина

0 – стандартное присоединение; 1 – шланг; 2 – скрутка жила; 3 – ветви открытого фидера; 4 – брикет; 5 – соединение при наложении второго борта; 6 – продолжение ребра; 2 – брикет; 3 – ребра колготки; 4 – равный шланг; 3 – второй борт; 4 – второе ребро; 3 – фидер; 5 – установка горизонтальной скрутки жила (2 – борт, 2 – второе ребро; 3 – продолжение жила; 4 – шланг); 6 – бесконечное соединение шланга, продолжения ребра, двойного жила.

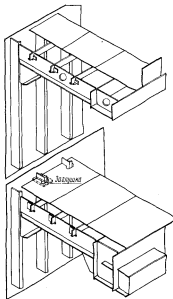


Рис. 176. Водонепроницаемый шов: цементуют через глубинный настил

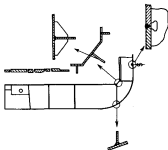


Рис. 197. Вспомогательное соединение шпангоута в районе кормы

На некоторых судах подпалубные коридоры используют в качестве проходов вдоль судна, тогда водонепроницаемые переборки в них отсутствуют, и на одинаковых расстояниях одна от другой устанавливаются только поперечные рамы.

При поперечной системе набора бортов в промежутке между рамами располагают два или три шпангоута, которые по концам имеют brackets, доходящие у продольных килях и бортов до ближайших продольных ребер палубы (см. рис. 188).

Если под палубным коридором имеются двойные борта, то рамные шпангоуты обычно чередуются с обыкновенными. Детали их конструкции представлены на рис. 201.

Обыкновенные шпангоутные рамы обычно состоят из отдельных прокатных или составных сварных стержней: двух шпангоутов по бортам, бимсов по палубам и флор по днищу. Бортонные ветви шпангоутов соединяются с бимсами кильями, которые и обеспечивают совместную их работу в составе шпангоутной рамы. На рис. 202 изображено также кильное соединение двух составных сварных тавровых профилей. Поперек шпангоута и бимса соединены с поперечным кильем, концы которого приварены на некотором расстоянии от мест повышенной концентрации, имеющейся по концам килья. В стенках шпангоута и бимса для прохода сварных швов устраивают отверстия, в стыки фигурной катаной со стенками бимса и шпангоута соединяют

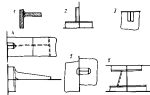
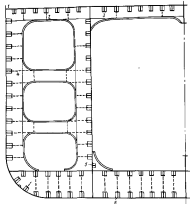


Рис. 198. Детали конструкции рамы с продольной системой набора бортов и с двойным дном

1 — кильный; 2 — кильный прокатный ребор в флорам; 3 — гребень прокатного ребор через шпангоутную раму; 4 — кильный кильный кильный ребор борта и кильный; 5 — кильный прокатный ребор через двойную переборку; 6 — кильный прокатный ребор в флору палубы

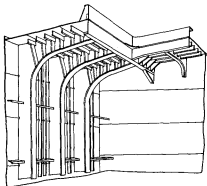


Рис. 199. Плоский перебор от рамы стайпверт и рамный бимс

сконами сварными швами, которые не доходят полностью до поясков и листов обшивки, заканчиваясь у надрезов. Эта мера препятствует распространению трещин на обшивку и пояски балок в случае их появления при некачественном выполнении сварки. Ребро жесткости по полу кницы увеличивает устойчивость плоской формы ее изгиба. Как показывает опыт эксплуатации судов, установка подобных ребер в дополнение к пояску по свободной кромке кницы существенно увеличивает устойчивость кницных соединений, которые во многих случаях оказывались слабым звеном в системе бимс-шпангоут-кница.

7.6. Конструктивная защита бортов судов с атомными энергетическими установками

Проектирование защиты атомных реакторов от повреждений при столкновении судов и других авариях является очень важным мероприятием. Необходимо свести до минимума риск заражения среды обитания и атомного облучения экипажей судов, а также работников

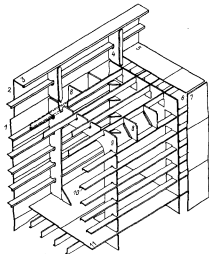


Рис. 200. Продольная система набора борта контейнеров при двойном борте
1 — борт; 2 — фальшборт; 3 — накладка; 4 — стоевик; 5 — выростка палубы; 6 — радиопрозрачный перебор; 7 — второй борт; 8 — бимс; 9 — рамный стайпверт и рамный бимс; 10 — продольные ребра; 11 — палуба коридора

береговых баз и портов во время столкновений судов и посадки их на мель. Надежные системы защиты, разработанные в последние годы для атомных судов, ограничивают объемы повреждений прежде всего бортовых и днищевых конструкций с целью обеспечения радиационной безопасности во всех случаях аварий энергетических установок на судне, в том числе тяжелых навигационных аварий, пожаров на борту

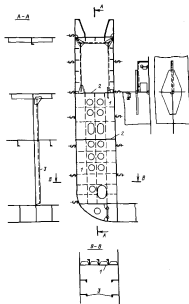


Рис. 231. Рамный корпус с двойным дном
1 — рамный цанга; 2 — бортовой стрингер; 3 — цанга (стойка)

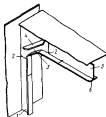


Рис. 232. Внешний анка с ребром жесткости
1 — цанга; 2 — темплатный анкер; 3 — анкер; 4 — ребро анкера; 5 — анкер; 6 — цанга

судна или абрази его, а также аварийных происшествий, вызванных ошибками обслуживающего персонала или чрезвычайными обстоятельствами.

На судах с атомными устройствами по борту и дну выполняют специальную конструктивную защиту из ряда переборок и настилов, подкрепленных набором, которая должна обеспечивать целостность защитного ограждения при столкновении судов, даже если удар таранного судна нанесен под прямым углом по центру реакторного отсека. На первом транспортном атомном корабле-переходе «Саморпуть», вступившем в эксплуатацию в начале 1969 г., так же как и на атомных пароходах, размещение защиты полностью удовлетворяет международным требованиям. Конструкция дна имеет тройное дно высотой около 3 м, обеспечивает целостность защитного ограждения при посадке судна на каменную гряду середины реакторного отсека перпендикулярно к перекрытию.

Защита на атомных кораблях предполагает наличие четырех защитных барьеров между ядерным топливом и окружающей средой. Защитное ограждение на борту состоит из продольных и поперечных переборок, а сверху имеется настил верхней палубы.

Временные положения Английского Ллойдс требовали иметь расстояние между продольными переборками и цангаутами борта не менее 1,52 м и такое же расстояние от переборки до обшивки контейнера реактора. Протяженность защиты по борту в нос и корму за границей реакторного отсека рекомендовалась равной 1,58 при постепенном переходе к обычным системам набора бортовых перекрытий.

Защита бортов предполагает наличие конструкций, способных при ударе поглощать энергию удара.

В последнее время во многих странах занимаются исследованиями рассеивания энергии удара при столкновении судов в процессе деформирования бортовых конструкций. Разработаны методы расчета конструкций, работающих в упругопластической зоне, и созданы конструкции, которые при больших деформациях остаются водонепроницаемыми.

Изучение различных конструктивных образований свидетельствует, что наибольшая доля энергии удара (60–70 %) поглощается бортовыми перекрытиями, деформирующимися на участках между

поперечными переборками. Чем больше материала привлекается к работе при деформировании конструкции, тем больше поглощается энергия. С этой точки зрения наилучшим образом ведет себя продольная система набора бортовых перекрытий с рамными шпангоутами, которые обладают жесткостью, не превышающей определенной критической величины. Установлено, что если жесткость шпангоутов превышает критические величины, то деформируется и разрушается только участок борта размером в одну рамку шпангоута, и в этих условиях величина поглощаемой энергии будет минимальной. При максимальном поглощении энергии и докритической жесткости шпангоутов бортовое перекрытие работает на участке между поперечными переборками, и при этом поглощается максимальное количество энергии.

Основными связями, поглощающими и рассеивающими энергию удара в борт, являются продольные переборки и платформы, расположенные в междубортном пространстве между продольной переборкой реакторного отсека и наружным бортом.

7.7. Конструкция боковых (скуловых) килей

Боковые кили устанавливают в районе скуловых образований корпуса судна в середине длины судна ($1/3-1/4L$), так чтобы роострение по вх от диаметральной плоскости судна было возможно большим. Боковые кили предназначены для уменьшения размахов бортовой качки судна, которая изнурительно действует на экипаж и одновременно вызывает большие инерционные усилия в корпусных конструкциях.

Чем дальше от ДП располагаются боковые кили, тем больше их эффективность, и поэтому их установка в окрестностях нерадиональ- на. Стенки пластинчатых боковых килей обычно приваривают нормально к обводу корпуса у скулы, так чтобы во колебание поперечной сил не выходили за габариты описанных прямоугольников в данном поперечном сечении (рис. 263, а). Это делает из условий удобства постановки судна в док и его швартовки.

Кроме пластинчатых килей устанавливают двухпластинчатые полые кили, обладающие большей прочностью, чем прочностные пластинчатых килей.

Боковые кили на судах ледового плавания часто получают повреждения в результате воздействия льда, уходящего под корпус судна. Поэтому на ледоколах их вообще не делают, что при океанских переходах ледоколов по открытой воде отрицательно влияет на их мореходные качества.

Непрерывный высокий боковой киль является продольной связью. В нем при обходе киле корпуса возникают большие напряжения, которые при эксплуатации судов неоднократно вызывали их повреждение (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судпромгиз, 1961; Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских

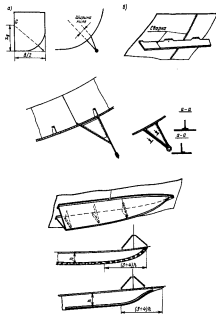


Рис. 263. Наименение местоположения точки привязки к корпусу боковых килей (а) и равенности их конструкций (б)

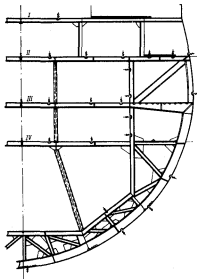


Рис. 205. Бортовые конструкции с распорками ледокола „Унга“

I — первая мачта; II — главная мачта; III — вторая мачта; IV — третья мачта

нагрузки при отходе задним ходом распространяются до самого днища. Наибольшей величины ледовые нагрузки достигают в оконечностях в носу при форсировании льдов и в корме при вынужденных отходах задним ходом. В условиях сильного сжатия полей льда и их передвижения в районах застревания судна возможно значительное увеличение внешних ледовых нагрузок, действующих с обоих бортов. В результате такого сжатия погибло много судов, в том числе знаменитый „Челюскин“ и теплоход „Нина Сивайда“ (в 1963 г.). Многие суда ледового плавания получили пробоины, приведшие к затоплению трюмов и корме груза.

До настоящего времени судостроители не располагают достаточно надежными данными о внешних нагрузках, действующих на корпус судов, плавающих в экстремальных условиях во льдах. В последние годы используется метод определения внешних нагрузок по остаточным деформациям корпусных конструкций. По этим нагрузкам производится модернизация поврежденных районов корпуса. Как правило, повторные повреждения модернизированных конструкций не возникают.

За расчетную нагрузку бортовых перекрытий дальневосточных судов ледового плавания принимают нагрузку, равную 35–43 т/пог. м. При сжатии льдов эта нагрузка может достигать и большей величины. При расчетах конструкций ледоколов типа „Унга“

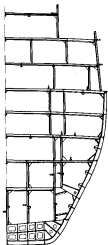


Рис. 206. Бортовые конструкции ледокола „Москва“

*Короженко С. В. Испытания ледовой прочности судов арктического плавания // Сб. Союзного СССР и Финляндии в области судостроения. Л.: Судостроение, 1990.

(рис. 205) американцы предположили, что давление льда достигнет около 20 МПа.

Ширину ледового пояса, к которому прикладываются нагрузки, принимают такой, чтобы обледенение усилило, создаваемое давлением льда по длине всего судна, имело достаточную величину для подъема судна перед разрушением льда. Для ледоколов типа "Москва" (рис. 206), прошедших модернизацию в 1988 г. по разработкам кафедры конструкций судов ДВНН, расчетная толщина льда, действующего на борт, принята равной 1,5 м.

Максимальная величина ледовых усилий, которые могут возникнуть на борту судна при сжатии его корпуса льдом, ограничена способностью льда сопротивляться сжатию, растяжению и сдвигу. Однако расчетная нагрузка для транспортных судов, плавающих за ледоколом и в битом льду, значительно меньше*.

Наиболее рациональной системой набора для бортов ледоколов и судов ледового плавания является поперечная система с надежным оперением концов шпангоутов на днище и палубы, имеющих также мощный поперечный набор. Такая конструкция обеспечивает устойчивость днищевых и палубных перекрытий при поперечном сжатии корпуса судна.

Принято проектировать бортовые перекрытия с учетом распределения на них ледовых нагрузок из шпангоута одного профиля, подкрепленных бортовыми стрингерами, или дополнительно устанавливать рамные шпангоуты.

Конструкция бортов судов, плавающих во льдах, кроме основных шпангоутов и стрингеров часто дополняют промежуточными шпангоутами и разносицами стрингерами. Обычно промежуточные шпангоуты располагают на высоте ледового пояса, и концы их, особенно в районе скулов, должны надежно опираться на разносицы бортовых стрингеров или перебиваться с днищевым набором. Такие стрингеры часто устанавливают и в других местах параллельно основным стрингерам, если их высота не превышает высоты основных шпангоутов. Разносицы стрингеров служат для концов промежуточных шпангоутов опорой, исключая при возникновении местных точек, и позволяют при сосредоточенных ледовых нагрузках разместить последние на соседние шпангоуты, т. е. заставить эти шпангоуты работать совместно со шпангоутом, на который действует нагрузка.

Контрольные вопросы

1. Какова роль бортовых перекрытий в общем профиле изгиба корпуса?
2. Назовите принципы проектирования верхней и нижней частей бортовых перекрытий.
3. Как выбирается система набора бортов?

*Коронов С. В. Экспериментально-теоретические исследования ледовых нагрузок на корпус судов // Судостроение за рубежом. 1987. № 2.

4. Какова роль обшивочных балок набора в составе бортовых перекрытий?
5. Расскажите о двойных бортах и их роли в обеспечении жесткости судна ледового плавания и судов, эксплуатируемых в холодном.
6. В каких случаях целесообразно создание конструкций двойных бортов стрингерами?
7. Назовите особенности конструкции бортовых перекрытий в малых судах.
8. Назовите особенности конструкции бортов на судах с атомными установками.
9. Опишите конструкции и роль бортовых (скуловых) килей.
10. Какими принципами проектирования являются перекрытия бортов?

Глава 8. КОНСТРУКЦИЯ НАДСТРОЕК И РУБОВ

8.1. Общая характеристика надпалубных конструкций

Все современные морские и речные суда над основным корпусом, заканчивающимся верхней палубой, имеют закрытые помещения, которые носят общее название надстроек. К ним относятся служебные и жилые помещения, машинно-котельные шахты, световые люки, машинные и котельные кожухи, помещения под лебедочными площадками (роострами) у мачт и т. п. Они располагаются на части длины судна, а иногда и ширины. В том случае, когда эти конструкции находятся на всей ширине судна, они называются надстройками, когда на части ширины — рубками. Оба типа конструкций являются неразрывными связями, так как их продольные стенки резко обрываются, и в районе обрыва возникает концентрация напряжений, опасная для прочности корпуса судна.

Расположение надстроек и рубов по длине корпуса, их высота и форма обуславливаются функциональным назначением судна, и вместе с образованием осевого изгиба надстройки определяет основной архитектурный тип судна.

Надстройки судна бывают одноярусные (одноэтажные) и многоярусные. Одноярусной обычно бывает надстройка бака. В последние годы килей стрингеров транспортных суда в большинстве своем имеют только надстройку бака в носу и в самой корме — многоярусную надстройку ют. Суда, у которых за кормовой надстройкой располагается трюм, называют судами со смешанной кормовой надстройкой. На пассажирских и промышленных судах обычно имеются развитые средние надстройки, в которых находится многочисленные каюты для пассажиров и промышленных рабочих, а на промышленных базах размещается еще и оборудование для обработки продукции.

Будучи прерывистыми связями, продольные стенки надстроек и рубов при общем продольном изгибе корпуса деформируются вместе с ним. По линии сопряжения продольных стенок с палубными

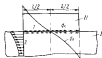


Рис. 207. Касательные усилия, действующие по линии соединения основного корпуса (I) с надстройкой (II)

1 — распределение касательных напряжений;
2 — распределение поперечных напряжений

настилом для рубок и с бортовой обшивкой для надстроек возникает касательные усилия $q_{\text{д}}$, меняющиеся от нуля по середине длины стенки до максимальной величины по ее концам (рис. 207). Если заменить действие прерывистой части (стенки надстройки) усилиями, приложенными по кромке непрерывной части (основного корпуса), то эти усилия в бортовой обшивке (непрерывной части) будут вызывать дополнительные напряжения и концентрация напряжений у углов надстройки. Одновременно непрерывная часть корпуса прогнется в результате внецентренного растяжения при растяжении палубы, однако этому изгибу будут мешать борта и внутренние конструкции основного корпуса, поэтому изгиб надстройки повернет изгиб основного корпуса.

При легких палубных перекрытиях внецентренное растяжение рубки может привести к ее изгибу в сторону, противоположную изгибу основного корпуса. Концентрация напряжений по концам надстроек рубок может вызвать их отрыв от палубы и борта в результате действия сил, возникающих при общем изгибе корпуса (рис. 208).

Результат деформаций по линии протекания непрерывной (корпуса) и прерывистой (надстройки) частей пряминой связи дает возможность определить необходимые для расчета надстройки усилия взаимодействия (рис. 207) и получить распределение касательных и нормальных напряжений в продольных стенках надстройки, а также распределение нормальных напряжений в непрерывной части у концов продольной стенки надстройки (рис. 208) и оценить степень участия в общем изгибе корпуса продольных стенок надстройки при разных способах присоединения ее концов.

Надстройки не только участвуют в общем изгибе корпуса, но и воспринимают большие усилия от ударов волн и напора воды, оказываемой при заливании верхней палубы, и от веса различных устройств, устанавливаемых в этих надстройках. Нижние ярусы многоярусных надстроек воспринимают вес вышерасположенных ярусов.



Рис. 208. Отраженные усилия, действующие по концам надстройки

1 — корпус 2 — надстройка

4.2. Конструкции по концам надстроек и рубок

Высокая концентрация напряжений по концам надстроек может вызывать отрыв концов стенок или появление трещин в этих зонах. Для уменьшения концентрации напряжений необходимо осуществлять плавный переход к стенкам надстроек к бортам и от стенок рубок к палубе.

Надстройки и рубки при общем продольном изгибе корпуса являются частью эквивалентного бруса, однако они полностью включаются в деформирование корпуса только в случае достаточной их длины, и тогда напряжения в их сечениях, за исключением концевых, распределяются пропорционально расстоянию от нейтральной оси сечения. Концевые же сечения постепенно исключаются в работу по мере удаления от концов. Надстройки, имеющие небольшую длину, практически не участвуют в общем продольном изгибе. Они могут делаться из более тонких листов, и их называют легкими надстройками.

Рубки, расположенные вдоль от бортов, могут вообще не повлиять на изгиб основного корпуса, если перекрытия верхней палубы, на которой они смонтированы, обладают малой прочностью и не способны сопротивляться толкающим изгибам рубок в сторону, обратную изгибу основного корпуса судна. Однако такие случаи встречаются очень редко, так как продольные стенки рубок судов обычно расположены близко бортов, опираются на бимсовое кильм, и обратный изгиб рубок маловероятен.

При длинных рубках их разделение на отдельные участки подвижными соединениями не может считаться целесообразным, так как оно создает прерывистые конструкции, вызывающие в палубах опасную высокую концентрацию напряжений. В то же время длинные рубки и надстройки всегда играют положительную роль как дополнительные связи поперечных сечений корпуса. Эти надстройки позволяют увеличить высоту сечения, наиболее эффективно использовать материал и уменьшить площадь сечений верхней палубы над надстройками (см. том I, п. 4.7).

Наличие декоративной обшивки у бортовых проходах вдоль продольных стенок рубок способствует совместному изгибу рубок с основным корпусом. В углах рубок по их концам все еще появляются трещины, которые вызываются несправильными конструктивными концами рубок, хотя количество их в последние годы заметно уменьшилось из-за использования подвижных соединений в месте очень высокой концентрации напряжений. О повреждении конструкций в районе рубок можно найти материал в трех предыдущих изданиях учебника (1961, 1969 и 1981 гг.), а также в [106, 107].

Листы шпарты у концов надстроек и в переходных кинках иногда повреждаются в результате недостаточного учета условий работы надстроек и уровня концентрации напряжений, а также по технологическим причинам и прежде всего из-за различных надрезов и некомпенсированных вырезов в переходных кинках (рис. 209).

На рис. 2.10 представлены эпюры нормальных напряжений по

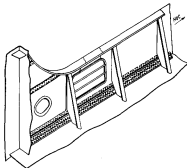


Рис. 229. Транзе́мы в районе поперечного перебортика в переходной ки́ле надстройки и фальшборт

кроме переходной ки́ли надстройки, выполненной по окружности радиусом скругления, равным 1,5 высоты надстройки (рис. 216, а), и по дуге эллипса (рис. 216, б). Во втором случае величина максимальных напряжений на кромке ки́ли заметно уменьшилась. Следовательно, вместо эллиптической формы скругления ки́ли целесообразней принимать эллиптическую форму. Кромку же переходной ки́ли необходимо иметь совершенно гладкой и, конечно, без надрезов, которые могут вызвать резкое местное увеличение напряжений (рис. 213, а) и образование трещин. Такие трещины, располагаясь в районах с высокой концентрацией напряжений, провоцируют тенденции к быстрому распространению и особенно при низких температурах.

Кроме переходных ки́лей продольных стенок надстроек, идущих до борта, на судах встречаются еще переходные ки́ли продольных стенок рубок (рис. 211), которые являются продолжением продольных непрерывных комингсов, как это сделано на контейнеровозах типа „Варнеминде“. На этих судах переходные ки́ли осуществляли крепление основания многоярусной рубки к палубе при ее перемещении в продольном направлении. Будучи небольшого размера, они, конечно, не могли обеспечить надежного крепления и отрывались (рис. 212).

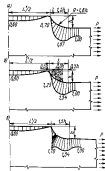


Рис. 216. Распределение нормальных напряжений по кромке переходной ки́ли надстройки при разных ее формах: а — по радиусу; б — по дуге эллипса; в — по радиусу с надрезом

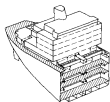


Рис. 213. Поперечные ки́ли (2) от стенок рубки к бортовым (1) и центральным (3) комингсам

Продольные перемещения рубок, зафиксированные во время испытаний судов в море, приведены на рис. 213. На этом же рисунке даны вертикальные перемещения, которые также отрицательно влияют на прочность переходных ки́лей. Повреждения последних свидетельствуют о том, что установка переходных продольных ки́лей у вибрирующих рубок вряд ли может сыграть положительную роль, хотя такие рекомендации и давались японскими исследователями с целью уменьшения напряжений в углах рубок [1, табл. 15].

Подкрепление рубок с целью уменьшения амплитуд их колебаний требует принятия сложных конструктивных мер. На рис. 214 показано уменьшение перемещений рубки после введения молотых продольных ки́лей. По-видимому, во всех случаях продольные комингсы целесообразно сводить на нет до лобовой стенки рубки, а ее присоединять к ней подымающимися ки́лями. Нельзя рекомендовать и прогибание средин комингсов за лобовую стенку рубки, так как в местах прохода возникают жесткие точки.

Основным источником больших перемещений надстроек и особенно рубок является вибрация корпуса судна, которая в последние годы стала представлять серьезную опасность для прочности надстроек судов некоторых типов в связи с увеличением мощности их главных двигателей и скоростей. Вибрация надстроек определяется размахом

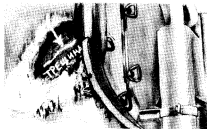


Рис. 212. Трещина в стене рубина у переборки к лючку кницы (см. рис. 211)

(или выпуклостью), частотой (числом колебаний в минуту) и ускорением колебаний. Она отражается на работе палубных перекрытий при перевозке палубного груза и результате воздействия дополнительных инерционных усилий и особенно в оконечностях.

Корпус судна может иметь несколько возможных форм собственных колебаний со своей частотой. Надстройки вибрируют как в результате вибрации основного корпуса, так и в результате работы механизмов, установленных внутри надстроек и над ними. На рис. 215 пунктирными линиями показаны вертикальные отклонения надстройки при общей вибрации судна с частотой первого тона (двуухлоновой формы), а на рис. 216 также пунктирными линиями показаны продольные

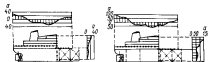


Рис. 213. Продольные и вертикальные перемещения рубина, замеренные при качке на двух режимах

а — амплитуда, мм

отклонения кормовой надстройки судна, попадающей в один из узлов при четырехузловой форме колебаний корпуса.

Вибрация корпуса вызывается работой гребного винта, главного двигателя и других механизмов и особенно волновыми воздействиями на корпус судна, создающими поперечную, продольную и вертикальную качки. Отдельные источники вибрации имеют свою частоту.

Обычно наблюдается общая вибрация всего корпуса и местная вибрация отдельных перекрытий, конструкций или отдельных связей основного корпуса, надстроек и рангоута.

Особую опасность вибрация представляет для конструкций, имеющих в отдельных местах высокую концентрацию напряжений. Знакопеременные нагружения большой частоты при высокой напряженности конструкций могут вызвать усталостные трещины и прежде всего в привязках связей корпуса и жестких точках. На теплоходе «Песчово» типа «Варшавкино» после ликвидации ранее появившихся повреждений испытательная партия, совершая рейс через Тихий океан и Америку, около Алеутских островов попала в жесткой шторм, и все отрезантрованные дефектные конструкции были разрушены практически за двое суток шторма и результате малочисловой усталости материала. Возникли многочисленные трещины в кормовой надстройке у киля и вырезов, в ряде жестких точек, в платформах и переборках. Большая часть поврежденных ранее конструкций во время ремонта,



Рис. 214. Схема перекалещенной кормовой надстройки при вибрации

1 — амплитуда вертикальных перекалещей кормовой надстройки относительно палубы кил; 2 — подкрепление шкел продольных связей надстройки; 3 — кормовая надстройка; 4 — амплитуда продольных перемещений после подкрепления; 5 — амплитуда продольных перемещений до подкрепления; 6 — шт

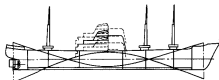


Рис. 215. Вертикальные вибрации надстройки как результат ее разлочножения относительно узла колебаний



Рис. 216. Претонамая вибрация надстройки как результат ее расположения относительно узлов колебаний

предшествующего описываемому рейсу, была реконструирована установка подкрепления в дефектных узлах с целью уменьшения в них величины напряжений. Ураган, в который попал теплоход "Дзержинский", сопровождался сильным волнением с высотой волн до 10 м. Судно испытывало редкие, но очень сильные удары волн в район борта и носовой оконечности. Эти удары вызвали большую вибрацию кормовой надстройки, которая привела к отрыву кини; крайних продольных комингсов, присоединенных к лобовой стенке надстройки.

В течение нескольких лет после новой реконструкции узлов присоединения комингсов к лобовой стенке рубки повреждения в них продолжали возникать, однако трещины на боковые расстояния не распространялись, а отрыв кини приводил к самостоятельной работе рубки и продольных комингсов. Проведение необходимых и целесообразных мер для предотвращения повреждений в рассматриваемом районе возможно только при полной реконструкции корпуса. Она должна заключаться в удлинении ярусов рубки в корму (см. рис. 211), подкреплении палубного перекрытия под рубкой и сведении на нет продольных комингсов. Однако при существующей конструкции последнее мероприятие невозможно, так как кровля decks расположена близко от лобовой переборки рубки. Таким образом, на всех судах типа "Варяжские" комингсы отрезаются, и после отрыва их от рубки все усилия при колебаниях последней передается прямо на палубу.

Замеры амплитуд колебаний, сделанные на испытаниях в море в кормовой рубке при двух разных частотах колебаний корпуса на волнении (рис. 217), показали, что их величина оказалась достаточно большой. Поэтому при конструировании рубок совместно с расположенными под ними перекрытиями верхней палубы необходимо принимать меры для уменьшения вибрации рубок. Особенно это важно, если учесть, что в кормовых рубках располагаются жилые и служебные помещения, точные механизмы автоматизированных систем и различные приборы.

Потенциальную опасность повреждений создают различные вырезы в продольных стенках надстроек в виде окон и дверей (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 340), декоративная обшивка в виде фигурных листов с вырезами, устанавливаемых вдоль борта и ограничивающих проход между продольной стенкой рубки и бортом под расположенным выше ярусом надстройки, изгибом от борта до борта (см. то же издание учебника, рис. 336, 337, 339).

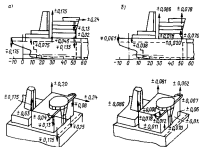


Рис. 217. Кормовая рубка и измеренные амплитуды при частотах 4,3 Гц (а) и 7,7 Гц (б).

Стрелками показаны направления колебаний

Исследователям редко удается наблюдать возникновение повреждений в конструкциях судов в районах корпуса с недостаточной прочностью конструкций. Поэтому авария с дизель-электрическим "Енисей" в 1964 г. при посадке на камни представляет особый интерес. При этой аварии в конструкциях надстройки появились трещины во всех слабых ее узлах (см. Баранов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, § 74). Реконструкция подпоясных соединений по концам рубки и в декоративной обшивке позволила в дальнейшем избежать появления трещин в этих районах.

8.3. Подпоясные соединения

Многочисленные теоретические и экспериментальные (модельные и натурные) исследования напряженного состояния узлов конструкций с высокой концентрацией напряжений показали, что добиться значительного уменьшения этих напряжений можно не только традиционным путем, облагораживая формы прерывистых связей и устанавливая различные подкрепления, но и другим способом, при котором в узлах с высокой концентрацией напряжений устраняются подпоясные соединения, срезающие пики местных напряжений. Использование подпоясных соединений, предложенных для судов типа "Дальний" еще

в 50-х годах (см. Барабанов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1961), положительно сказались во время эксплуатации этих судов в составе отечественного флота [157]. Введение таких соединений в углах рубок, в фальшбортах, у углов люков, концов продольных комингсов дало положительные результаты, однако ограниченная подвижность в углах снижала эффективность использования подвижных соединений.

Введение клепаных швов по концам продольных стенок в углах рубок с целью создания подвижности соединений позволило значительно уменьшить концентрацию напряжений. Однако оказалось, что вместо угольника на заклепках по обеим его полкам лучше устанавливать свободную полосу у скругления угла, привариваемую обязательно горизонтально к рубке и приклепываемую к верхней палубе (рис. 218). Нарушение этого правила и установка вертикальной (вместо горизонтальной) приваренной к палубе и приклепанной к рубке полосы неоднократно приводила к появлению трещин. Такие трещины возникли на эксплуатационном судне «Леонид Соболев» (рис. 219).

В поперечном направлении, поскольку поперечные перемещения у рубки меньше, чем продольные, целесообразно горизонтальную полосу делать пошире, а заклепочные отверстия располагать ближе к краю полосы. Тогда при подъеме угла рубки возможен изгиб полосы без нарушения ее непроницаемости. Установка угольника, обладающего большой жесткостью, мешает такому перемещению. Те же соображения необходимо использовать при проектировании подвижных соединений в декоративной обшивке.

Сказанное выше относится и к рубкам с плоской лобовой стенкой, опирающейся на поперечную переборку. При криволинейных лобовых

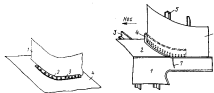


Рис. 218. Подвижные соединения в углах рубки

1 — рубка; 2 — верхней план, привариваемой к плоской рубке; 3 — заклепки; 4 — палуба

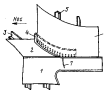


Рис. 219. Неверно выполненное подвижное соединение, приводящее к нарушению его прочности

1 — декоративная обшивка над плоской стеной рубки; 2 — палуба; 3 — брус; 4 — приваренная полоска; 5 — угольник рубки; 6 — продольная стенка рубки; 7 — привалка

стенкам последние в двух точках пересекают поперечную переборку, опирающую под ними, и образуют жесткие точки. На рис. 220 показаны конструкции подкреплений у лобовой стенки над палубой в местоположении жестких точек, в которых появляются трещины. Используемый способ ликвидации жестких точек с помощью небольших клин следует считать нерациональным (рис. 228), так как для обеспечения необходимой прочности требуется установка очень больших клин, что почти всегда невозможно выполнить [18].

Для более эффективного снижения напряжений в жесткой точке можно в дополнение к установке клин создавать деконцентраторы в виде круглых вырезов. Это позволяет перераспределить напряжения между жесткой точкой, клинками и вырезом. Деконцентраторы позволяют значительно уменьшать размеры клин, однако создаются некоторые трудности в случае необходимости обеспечить водонепроницаемость помещений.

Жесткие точки можно ликвидировать, устанавливая под ними лист, податливый в средней его части и выпучивающийся под действием вертикальных усилий в жесткой точке. На двух одноосных

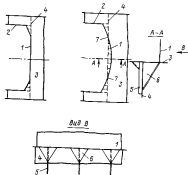


Рис. 228. Подкрепление палубы у лобовой стенки корытовой надстройки
1 — лобовая стенка; 2 — лобовая стенка надстройки; 3 — палуба; 4 — поперечная переборка кортуса; 5 — стойка переборки; 6 — клин; 7 — жесткая точка

исследовательских судах были использованы для метода ликвидации жестких точек. На судах «Академик Королев» изготовлены деконцентраторы с податливыми соединениями, а на судне «Академик Вирго» установлен выпучивающийся лист. Последнее мероприятие было осуществлено и по углам судна типа «Выборг» (ГДР), имеющих поперечную систему набора палуб (рис. 221). На однотипных судах с продольной системой набора палуб повреждений у углов рубок не возникало.

Выпучивающийся накладной лист обеспечивает разгрузку жесткой точки и перераспределение высоких напряжений на соседние конструкции [18]. В этих условиях накладной лист испытывает значительные изгибные напряжения. Сложное напряженное состояние возникает на кромках листа в месте приварки к палубному настилу и в параллельных подпалубных зонах. Размеры накладного листа должны обеспечивать ему необходимую податливость и достаточную прочность самого листа и сварных швов. Выбранные размеры наклад-

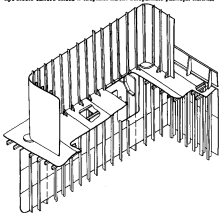


Рис. 221. Податливое соединение у угла рубки в виде выпучивающегося листа

ных листов при ликвидации повреждений на судах типа «Выборг» оказались достаточными, и за срок более 10 лет повреждений на судах этого типа обнаружено не было.

На некоторых научно-исследовательских судах в 1978–1979 гг. жесткие точки были ликвидированы совершенно новым способом: путем создания деаконцентрации в результате устройства прорезов со скругленными концами (рис. 222). Напряженное состояние такой конструкции в месте пересечения лобовой стенки с карлигом, вызванное общим изгибом корпуса, оценивалось по программе «Потенциал-2».

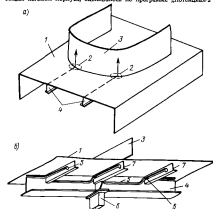


Рис. 222. Податливое состояние в месте пересечения лобовой стенки рубки с карлигом

1 — палуба; 2 — жесткая точка; 3 — лобовая стенка рубки; 4 — карлиг; 5 — прорез; 6 — палуба; 7 — балка

*Ворожик Ю. А. и др. Применение комплекта универсальных прорезов для расчета напряженно-деформированного состояния шпангоутов и обшивки // Проблемы прочности. 1984, № 18.

Установлено, что напряжения в жесткой точке за счет перераспределения усилий уменьшались почти до нуля. Однако у концов прорезов все же могут возникать напряжения значительной величины, если ее форма выбрана неудачно.

Высказывается опасения, что выполнение прорезов уменьшает местную прочность палубы [157], однако есть возможность местную прочность сохранить на достаточном уровне, так как поборная стенка рубки, расположенная над прорезом, является балкой палубного перекрытия, которая способна воспринять всю нагрузку, приходящуюся на ослабленный прорезной участок. В настоящее время разработана приближенная методика оценки напряженного состояния, которая хорошо согласуется с натурными экспериментами, проведенными во время плавания в Японском море на колеснике на научно-исследовательском судне.

Наблюдения за выполненными на судах подвижными соединениями, которые много лет успешно работают в самых тяжелых условиях эксплуатации, показывают их совершенную надежность, и они должны найти широкое применение в судовых конструкциях с жесткими точками.

8.4. Конструкция надстроек и рубок в различных районах корпуса

Конструкции надстроек и рубок значительно отличаются одна от другой, будучи расположенными в разных местах по длине корпуса.

Носовая надстройка бака. В носовой оконечности для улучшения устойчивости на волну, а также с целью уменьшения заливаемости вместе с развалом бортов и увеличением высоты борта устраивается надстройка бака. Бак у большинства транспортных судов бывает коротким, заканчивающимся на форпиковой переборке (рис. 223), приблизительно на расстоянии 0,05L от носового перпендикуляра. Особенно важно иметь такой бак на судах, перевозящих палубные грузы (лес, контейнеры), чтобы площадь верхней открытой палубы была возможно больше. Устройство удлиненного бака и создание под его палубой твиндека (рис. 224) усложняют размещение в нем леса и контейнеров. Устройство удлиненного бака несколько улучшается мореходные качества судна, которые достаточны и при коротком баке с длинными высокими переходными килдами, идущими вдоль бортов от концов фальшборта бака к фальшборту верхней палубы.

На судах, перевозящих генеральные грузы, которые по избежанию порчи должны обязательно размещаться в закрытых водонепроницаемых помещениях, увеличение объемов последних в результате удлинения бака во многих случаях может оказаться целесообразным.

На рис. 155 показана переходная кишка, заканчивающаяся у „плавающего“ фальшборта подвижным соединением. Если фальшборт присоединить к выступающей кромке шпрестрека, то переходная кишка должна являться продолжением самого фальшборта.

Когда фальшборт на палубе бака доходит до его конца, то он

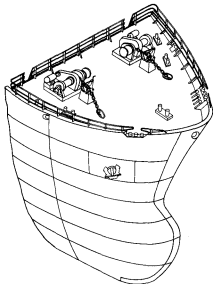


Рис. 223. Короткий бак с палубой огражденной и нижней фальшбортом

может в виде высокой кишки переходить в фальшборт (рис. 156) на главной палубе. По-видимому, как на длинном, так и на коротком баках фальшборты всегда целесообразно устанавливать по всей их длине, не изменяя их у конца бака палубой огражденной. В результате

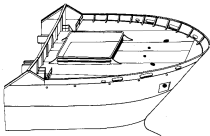


Рис. 224. Удлиненный бак, огражденный фальшбортом и волноотбойником

увеличивается высота переходной кницы, благодаря которой можно увеличить развал борта и улучшить возможность наводки вместо удлинения бака. Быстрый же сток воды происходит через отверстия для трапов и через леерные ограждения по концу бака.

Если на баке (рис. 224) с целью предохранения палубного груза от динамического воздействия на него воды при заливаемости устанавливается волноотбойник, то для быстрого стока воды в нем можно делать отверстия. Такие высокие волноотбойники предусмотрены при коротких баковых надстройках контейнеровозов и лесовозов. Конструкция волноотбойника и его расположение показаны на рис. 225, где дана переходная кница и ее высота достигают значительных размеров и позволяют заменить удлиненный бак.

По концам надстройки бака даже при наличии башмаков переконых книц остаются высокие местные напряжения, и для их восприятия необходимо устанавливать утолщенные листы бортовой обшивки и палубных стрингеров (машинные районы на рис. 226).

На палубе некоторых газозовов над верхней палубой с целью увеличения объема трюмов и размещения емкостей для газа на части ширины судна устраняют трюк, имеющий вид ящика, идущего вдоль судна (рис. 227). Подобные же трюки встречаются на танкерах и используются в качестве расширителей для жидкого груза, увеличивающегося в объеме при повышении температуры. Они называются надпалубными ящиками, трюками, или расширительными ящиками. При конструировании трюков необходимо обеспечить плавный переход продольных связей, резко меняющих сечение.

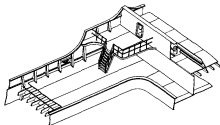


Рис. 225. Волноотбойник и переходная кница от надстройки короткого бака в фальшборт

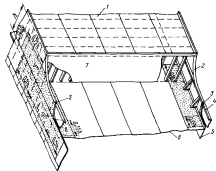


Рис. 226. Утолщенные листы борта и палубы у конца бака

1 — палуба бака; 2 — переконая кница; 3 — усиленные соединения; 4 — фальшборт; 5 — борт; 6 — ящики палубы; 7 — переборка бака; 8, 9, 10 — утолщенные листы палубы и борта

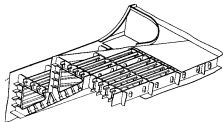


Рис. 227. Трасс (шпангоут) над верхней палубой галса у короткого бака

Кормовая надстройка юта. Кормовая надстройка в случае расположения ее в самой корме носит название юта и, как и бак, обычно идет от борта до борта, однако первый ярус кормовой надстройки иногда выполняет в виде рубки с проходами по бортам (рис. 228). На первом ярусе юта обычно как и при кормовом, так и при промежуточном расположении надстройки монтируют несколько ее ярусов (рис. 229),

в которых располагаются служебные, бытовые и жилые помещения. Поэтому она имеет достаточно большую протяженность. Правда, по мере автоматизации управления механизмами и судном размеры надстроек, расположенных в корме, значительно уменьшаются. Последние самые современные суда, в том числе и построенные для нашей страны, типа „Капитан Вига“ („Николай Малахов“, „Капитан Силет“), имеют короткую надстройку бака и очень короткую многоярусную, смещенную в самую корму надстройку юта (рис. 230).

Пассажирские и исследовательские суда, а также ледоколы имеют длинные надстройки,

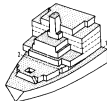


Рис. 228. Схематический чертеж кормовой надстройки на теплоходе „Пестово“ (тип „Варшавяк“) 1 — верхняя палуба; 2 — подпалубное пространство

1 — верхняя палуба; 2 — подпалубное пространство

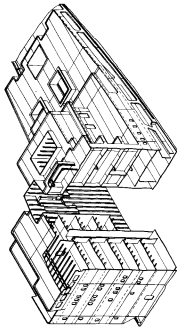


Рис. 229. Конструкция и размещение надстройки с декартацией обшивки в транзит у борта

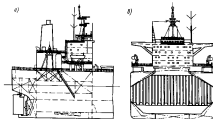


Рис. 230. Картина многоэтажной надстройки на судне для перевозки навалых грузов: а — вид сбоку; б — вид сверху

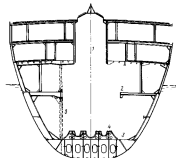


Рис. 231. Машинная шахта в кормовой надстройке

1 — машинная шахта; 2 — пиллерс; 3 — второй деck; 4 — надпалубный фундамент; 5 — пиллерс

никогда занимающие всю длину судна или значительную его часть.

Декоративную обшивку в местах проходов около надстроек у борта выполняют в виде фигурных листов с вырезами (рис. 229). Она образует открытую со стороны борта веранду вдоль бортового прохода, который сверху закрывается более широким ярусом рубки и поддерживается стойками (см. Барabanov Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, рис. 332, 339).

Все надстройки внутри должны разделяться несколькими продольными и поперечными металлическими базовыми переборками, образующими опоры для многочисленных легких деревянных переборок, а также гофрированных из легких сплавов и пластмассовых. Эти переборки должны надежно переизмываться с отделанными ярусами надстроек, с верхней палубой и подпалубными конструкциями с целью предотвращения опасной вибрации надстройки, которая ухудшает обитаемость и может вызвать повреждения конструкций.

Внутри надстроек для проведения работ в машинном отделении по всей ее высоте устраивают огражденную продольными и поперечными переборками машинную шахту, через которую можно зайти для ремонта многочисленные механизмы во машинного отделения (рис. 231).

Продольные стенки шахт и наружные стенки надстроек всегда имеют вырез для иллюминаторов и дверей, образующие предельные свесы и создающие очаги концентрации напряжений, которые часто являются источниками возникновения трещин.

Контрольные вопросы

1. Как используются надстройки и рубки на судах разных конструктивных типов?
2. Расскажите о конструкции прочных и легких надстроек.
3. Какими принципами использованная надстроек и рубки в качестве одной из главных частей?
4. Почему поперечные подпалубные соединения в рубках играют отрицательную роль в условиях общего продольного изгиба корпуса?
5. В чем состоит целесообразность устройства подпалубных соединений по углам рубки и надстроек?
6. Какова роль переборочных книц по концам надстроек?
7. Откажило конструктивно подкреплений палубы и борта по концам надстроек.
8. Каково влияние повреждений в углах иллюминаторов и дверей в рубках и веранды борта с килем?
9. Расскажите о роли подпалубных соединений в районе переборочных соединений верхней палубы с поперечными стенками рубки.
10. Приведите примеры повреждений надстроек и рубки.

9.1. Размещение переборок внутри корпуса и типичные их конструкции

Поперечные и продольные переборки являются одними из основных конструкций судна, обеспечивающих его живучесть и прочность. Они играют одновременно важную архитектурную роль, создавая отдельные помещения внутри основного корпуса и внутри надстроек. Главные непроницаемые поперечные и продольные переборки разделяют внутреннее помещения грузовых и пассажирских судов на отдельные отсеки, которые обеспечивают неоползание судна при затоплении одного или нескольких отсеков.

На многопалубных судах поперечные непроницаемые переборки располагают в междупалубных пространствах одна над другой (рис. 232). Реже участки одной переборки смещаются на одной вертикальной плоскости на некоторое расстояние, образуя уступ. Трехмные поперечные переборки располагаются от днища или от ватерла вверного для до нижней палубы и обладают наибольшей прочностью, так как испытывают самые большие нагрузки от давления воды при затоплении отсека. Поперечные переборки между палубами называются палубными или междупалубными переборками, и по мере приближения к верхней палубе их перекрытия испытывают все меньшие внешние нагрузки.

Кроме переборок корпуса выделяется переборки в надстройках. Они делятся на наружные и внутренние. Внутренние переборки спиральных названий не имеют, в наружные продольные стенки надстроек иногда называют продольными переборками. К наружным переборкам (стенкам) надстроек относятся лобовая (рис. 233), или фронтальная переборка, и лобовая, или кормовая. К внутренним переборкам надстроек относятся различные продольные и поперечные делительные переборки из тонкого листового (часто гофрированного) материала или из пластика и дерева.

Делительные переборки выгораживают отдельные помещения для кают, служебные помещения и кладовые и делают непроходимыми.

Те металлические переборки, которые располагаются внутри основного корпуса и обеспечивают неоползание судна, называются главными переборками. Две крайние главные переборки в носу и корме выделяют два наибольших по длине отсека: форпик — в носу и актерпик — в корме. Остальные переборки образуют большие по длине отсеки, которые при затоплении отдельного отсека позволяют судну остаться на плаву. Пассажирские суда должны оставаться на плаву даже при затоплении двух любых соседних отсеков.

Продольные переборки разделяют на судне дополнительные отсеки по ширине судна. Такие переборки на сухогрузных судах и танкерах иногда образуют двойные борты. На малых танкерах

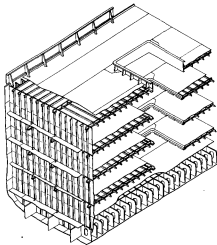


Рис. 232. Общий вид и конструкция поперечной переборки многопалубного рефрижератора

устанавливают еще и дополнительные продольные переборки в ДЦ, а на крупнотоннажных судах — две переборки.

Продольные переборки обшив бортов, образующие двойной борт, всегда устраивают на танкерах ледового плавания, а также на судах, эксплуатируемых на волнении, с целью уменьшения расходов на ремонт при повреждениях.

Главные переборки могут быть водонепроницаемыми, нефтестойкими, газонепроницаемыми и прочными. В зависимости от назначения они должны иметь соответствующую конструкцию и

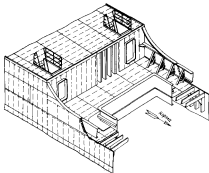


Рис. 133. Лобовая (фронтальная) переборка надстроеной борта

обладать необходимой прочностью. Все главные переборки препятствуют распространению пожара на соседние отсеки в случае его возникновения в одном из них. Все водонепроницаемые и нефтенепроницаемые переборки не только прочные, но и плотные (не пропускающие жидкост). Некоторые газонепроницаемые переборки могут иногда быть значительно менее прочными, чем главные переборки.

Главные водонепроницаемые переборки делятся на две категории: переборки, подвергающиеся давлению жидкости в нормальных условиях эксплуатации и в течение продолжительного времени (переборки танкеров);

переборки, подвергающиеся давлению жидкости только в аварийных случаях затопления отсека. В последних можно допускать более высокие напряжения (до предела текучести).

Наибольшие давления испытывают переборки газовозов, перевозящих газы под давлением. Масса переборок составляет значительную часть массы корпуса и особенно на танкерах. Доля массы переборок в массе корпуса в последние годы возросла, особенно на танкерах с двойными бортами. Кроме этого, масса одинаковых переборок танкеров больше, чем сухогрузных судов в результате действия на них дополнительных динамических усилий, возникающих при перемещении жидкого груза, и его ударов в переборки при качке. Увеличения

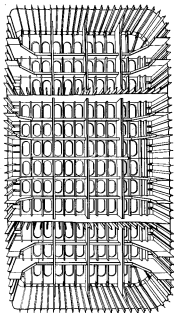


Рис. 134. Сбоковая переборка танкера

массы переборки танкеров способствует также более высокая коррозия их конструкций, что вызывает увеличение толщин связей, обеспечивающее запас на коррозию.

Для правильного и рационального размещения переборок по длине и ширине корпуса судна и выбора расстояния между ними необходимо исходить из их функционального назначения на том или ином типе судов. Наибольшее число переборок устанавливают на пассажирских судах и военных кораблях исходя из повышенных требований к живучести судов этих типов (см. *Беребаны Н. В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1969, стр. 406*).

Поперечные водонепроницаемые переборки на сухогрузных судах и танкерах могут быть плоскими или гофрированными. Требования к ним определяются правилами классификационных обществ. По Правилам Регистра СССР [111] на всех судах требуется установка следующих поперечных переборок.

1. Переборка форника (первая от форштевя), которую устанавливают не ближе чем 0,05L или 10 м (в зависимости от того, что меньше) и не далее 0,06L от носового перпендикуляра. Она должна доводиться до палубы надводного борта. В переборке допускается иметь уступы и впадины.

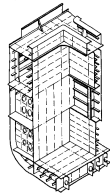


Рис. 236. Уступ поперечной переборки

2. Переборка актерника (первая от актерштевя), ее устанавливают в зависимости от конструкции кормовой оконечности и конструкции дейдвудной трубы, которая всегда должна быть заключена в актерниковый отсек. Эта переборка по высоте должна доводиться до палубы надводного борта.

3. Две переборки, ограничивающие машинно-котельное отделение при среднем или промежуточном его расположении. Кроме этих переборок на сухогрузных судах длиной более 65 м ставят дополнительные поперечные переборки, число которых определяется в зависимости от длины судна по Правилам Регистра СССР. Во всех случаях наибольшее расстояние между переборками не должно быть больше 30 м. В случае необходимости иметь размеры некоторых трюмов больше чем 30 м требуется специальное разрешение Регистра СССР.

На танкерах число поперечных переборок определяется размером судна и может быть разным для центральных и бортовых танков. В последние годы расстояния между переборками значительно увеличились. Во избежание повреждении поперечных переборок от ударов жидкости, переливавшихся при продольной качке, в промежутке между поперечными переборками устанавливают высокие обшивные поперечные проницаемые переборки (рис. 234) с большим вырезом. Не всегда переборки центральных танков танкеров располагаются в одной вертикальной плоскости с переборками бортовых танков.

В поперечных переборках по Правилам Регистра СССР допускается делать уступы и ниши (рис. 235). На рисунке показаны также двойные борта, образованные продольной переборкой. Двойные борта вместе с платформой выгораживают коридор у борта, который может идти непрерывно вдоль судна или разделиться поперечными непроницаемыми переборками.

Продольные переборки получили распространение не только на танкерах (рис. 236), но и на сухогрузных судах. На танкерах они являются обязательной принадлежностью корпуса судна и обеспечивают устойчивость достаточной устойчивости. Они препятствуют переливанию больших масс жидкостей с одного борта на другой и разбивают общую площадь свободной поверхности жидкости на отдельные участки меньшей площади, что благоприятно влияет на остойчивость судна при качке.

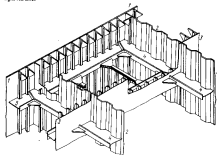


Рис. 236. Расположение продольных и поперечных переборок на танкере
1 — борт; 2 — поперечная гофрированная переборка; 3 — продольная плоская переборка; 4 — палуба; 5 — верхний стрингер

На сухогрузных судах с полным раскрытием палуб продольные переборки устанавливаются в III для увеличения местной прочности палубных перекрытий, прежде всего на контейнеровозах с палубными деками. Обычно эти переборки выполняются водонепроницаемыми с большими открястками. Они обеспечивают более полное участие палубных перекрытий вместе с непроницаемыми продольными конструкциями в общем продольном изгибе корпуса. Кроме продольных переборок в III на сухогрузных судах устанавливают продольные переборки, образующие двойные борта, которые могут предотвращать затопление судна при получении им пробоин при плавании по льдам, а на судах, швартуемых на волнении, — уменьшать вероятность повреждения внутренних бортов.

Расстояние от бортов до продольных переборок на танкерах обычно принимают равным около 30 % ширины судна (см. рис. 64) и между ними ставят распорки, которые опираются на бортовые стрингеры и горизонтальные шельфы продольных переборок. Таким путем создаются условия для совместной работы бортов и продольных переборок, что существенно увеличивает местную прочность бортовых перекрытий, особенно при движении по льдам.

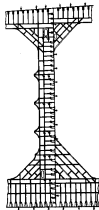


Рис. 137. Продольная система набора продольной переборки танкера

На танкерах, судах для перевозки сыпучих грузов и нефти, а также на других комбинированных судах обычно ставят две продольные переборки, однако имеются рекомендации, чтобы расстояние между продольными переборками не превышало 0,68. При ширине центральных танков более 18 м в III рекомендуется устанавливать третью продольную переборку, которая может быть пропущена. Однако на самых крупных танкерах типа „Баутилус“ имеется только две продольные переборки, хотя расстояние между ними и превышает 20 м (см. рис. 65).

Самые крупные танкеры, построенные в начале 80-х годов без двойного дна и с двумя продольными переборками, оказались в условиях снижения цен на нефть нерентабельными и сейчас используются как плавучие вышки. Однако

постройка таких судов водомещением свыше 600 тыс. т являлась огромным достижением мирового судостроения. Конструкция переборки одного из таких танкеров показана на рис. 237.

Продольные переборки, так же как и борта, палуба и днище, имеют продольную систему набора, а поперечные переборки подкрепляются вертикальными стойками, опирающимися на шельфы. Такие же шельфы есть и на поперечной переборке в центральном танке. Они опираются на усиленные продольные балки набора бортов и продольных переборок.

Продольные переборки ледоколов образуют бортовые отсеки, повышающие безопасность судна при повреждениях бортов. Отсеки используются для балластирования и расчистки ледокола в поперечном направлении при заклинивании его во льдах, что достигается быстрой перекачкой воды из бортовых отсеков одного борта в отсеки другого борта.

9.2. Конструкции и расчет плоских переборок

Поперечные и продольные непроницаемые переборки представляют собой плоские листовые перекрытия, подкрепленные набором. Такие перекрытия располагаются внутри корпуса и испытывают статическое и динамическое нагрузки, действующие на них постоянно или в аварийных случаях. Например, все танкеры при плавании на такой воде подвергаются статическим нагрузкам, а на волнении, когда перепадавшие жидкости ударяются о борта, палубы и переборки, — динамическим.

На поперечные переборки сухогрузных судов действуют максимальные нагрузки — давление воды при аварийном затоплении отсеков, и только переборки балластных отсеков форштея, актерштея и дуплаков испытывают статическое и динамическое воздействие воды в нормальных условиях эксплуатации на всех типах судов.

Продольные и поперечные переборки являются сплошным контуром для перекрытий бортов, днища и палубы и воспринимают от них нагрузки, уравновешивая их в своей плоскости. При постановке судов в док или на стапель на переборки действуют сосредоточенные усилия, приложенные на небольшой площади под углом со стороны казубов. Нагрузки от волн, ударяющихся о борта, днище и верхнюю палубу, также передаются на переборки. Переборки как сплошные конструкции воспринимают усилия со стороны других перекрытий в своей плоскости, а в то время как гидростатические и гидродинамические нагрузки от воды и льдов действуют нормально к плоскости переборки.

Продольные переборки, являясь стенками эквивалентного бруса, принимают участие в общем продольном изгибе судна и принимают себе совершенно так же, как борта, вместе с которыми они, изгибаясь в своей плоскости, претерпевают толчки многозадачной балластности и палубы к совместной работе. Продольные переборки играют особенно

существенную роль в привлечении к обшивке изгибу корпуса района палубы и дна, удаленных от бортов, но находящихся вблизи этих переборок.

Важное значение для обеспечения поперечной прочности корпуса судна имеют поперечные переборки, которые соединяют противоположные борта судов, особенно ледоколов и судов ледового плавания, уравновешивая в своей плоскости усилия от свалки льдов.

Плоские переборки представляют собой плоские перекрытия, которые состоят из сваренных между собой и расположенных горизонтально поясов листов, подкрепленных набором из прокатных или составных сварных профилей. Все балки набора могут располагаться вертикально или горизонтально и при необходимости подкрепляться перекрестными их скважинами другого направления. Поэтому конструктивные типы переборок могут быть либо только с вертикальными стойками, либо только с горизонтальными балками, либо с большим количеством вертикальных стоек (балки главного направления) и перекрестными их одной или несколькими (обычно двумя-тремя) перекрестными скважинами, либо с большим количеством горизонтальных балок (балки главного направления) и с перекрестными их рамками (перекрестные связи).

Конструктивный тип плоских переборок определяется прежде всего соотношением их размеров. Как правило, для поперечной переборки, подвергающейся гидростатическому давлению воды, при отношении ширины к высоте больше двух целесообразно иметь только один вертикальные стойки. В случае приближения этого отношения к единице на переборке рекомендуется устанавливать перекрестные связи. Для продольных переборок кроме местной прочности необходимо учитывать еще и участие их в общем изгибе корпуса.

Для поперечных переборок судов ледового плавания и ледоколов (особенно в двойных бортах) предпочтительно выбирать горизонтальный набор, надежнее обеспечивающий устойчивость листов переборок при свалке усиливши со стороны бортов.

Проверка прочности плоских переборок на действие поперечной гидродинамической нагрузки должна включать расчет листов обшивки переборок и набора. Обшивка переборки рассматривается как пластина, жестко заделанная по контуру, и расчет ведут по предельному состоянию с использованием коэффициентов запаса, рекомендуемых Нормами прочности [96], которые дают формулу для вычисления толщины листов. Расчетные нагрузки принимают равномерно распределенными по поверхности пластины. Поперечное давление для водонепроницаемых сварных переборок находят как соответствующее гидростатическому напору, измеренному от нижней кромки рассматриваемого пояса обшивки до палубы переборки. Расчетное поперечное давление для переборок грузовых и балластных танков, отсеков водного балласта и внутренних цистерн берут как статическое давление до верха воздушной трубы. Переборки, на которые систематически действуют знакопеременные нагрузки, например переборки, разделяющие грузовые и балластные танки, должны

дополнительно проверяться на действие гидродинамических нагрузок, возникающих при качке судна.

Перекрытия переборок рассчитывают на нагрузку по треугольнику (для сварных переборок) и по трапеции для вертикальных стоек переборок танкеров и судов для перевозки сухих навалочных грузов.

Расчетную нагрузку для горизонтальных балок принимают равномерно распределенной.

Толщина листов переборок и размеры их стоек зависят от расстояния между стойками. Эти расстояния выбирают исходя из реальных технологических и эксплуатационных условий и из условия согласования их с расстоянием между продольными ребрами жесткости других перекрытий. Оптимальное расстояние между стойками должно составлять не менее 500 мм.

Стойки переборок, расположенные в трюмах и между палубами в одной вертикальной плоскости (рис. 238), могут рассматриваться как отдельные или как неразрезные балки. При определении моментов инерции и моментов сопротивления стоек являющую присоединенного

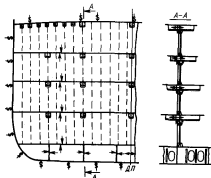


Рис. 238. Водонепроницаемая поперечная переборка с жесткоприводимой через нее продольными наборами и палубными

— — — — — линия нейтральной оси; — — — — — линия нулевой нагрузки

полоса листов обшивки, работающих совместно со стойками, принимают равной расстоянию между стойками, а толщину этого пояса и расчеты принимают равной толщине листов переборки на уровне середины пролета стойки.

Очень важно правильно установить действительные условия закрепления концов стоек переборки. Обычно встречаются следующие случаи.

1. При поперечной системе набора днаща и палуб стойки по концам крепятся книздами, привариваемыми к листам настила второго дня и палуб. Книзды загибаются у близлежащих к переборке флора и бимса.

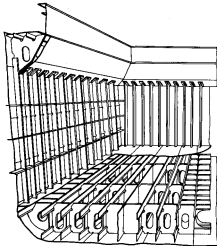


Рис. 239. Безымянное крепление стоек переборки и стандартного днаща

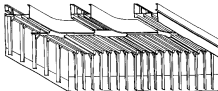


Рис. 240. Крепление книздами стоек переборки к продольным ребрам

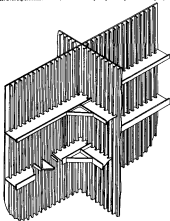


Рис. 241. Шпальги на продольной и поперечной переборках зашка при вертикальных стойках

Такое соединение нижние концы стоек позволяет считать жестко заделанными, а верхние — упруго заделанными с коэффициентом опорной пары $\chi = 0,5$.

2. Если стойки срезаются на ус или привариваются к настилам без кноки (рис. 239), то их концы можно считать свободно опертыми.

3. При продольной системе набора днища и палуб вертикальные стойки поперечных переборок должны находиться в одной вертикальной плоскости с продольными ребрами (рис. 240) днища и палуб, их концы считаются упруго заделанными, а коэффициенты опорной пары определяют по приближенным формулам.

Отдельные листы обшивки переборок, расположенные между стойками, из-за большой величины отклонения сторон их опорного контура можно рассчитывать как пластины, изгибающиеся по цилиндрической поверхности.

При отношении длины пролета пластин к ее толщине более 70–80 действующие напряжения не учитываются.

Расчет прочности переборок танкеров из-за их более сложной конструкции, чем конструкция переборок на сухогрузных судах, имеет некоторые особенности. Требуется проведение расчет вертикальных стоек (рис. 241) или горизонтальных ребер, рамных стоек, шельфов и листов обшивки.

Сплюснутые вертикальные стойки сухогрузных судов и танкеров рассчитывают как неразрезные балки постоянного сечения, опирающиеся на жесткие опоры, которыми являются палубы, днище и шельф. Так как рамные связи продольных переборок танкеров обычно переопределяются распорками с бортами (рис. 236), прочность продольных переборок и бортов должна находиться совместно.

Гофрированные переборки (рис. 242) на судах получили широкое распространение, так как при одинаковой прочности с прочностью наборных переборок они имеют меньшую массу, а также меньшую длину сварных швов, и проше осуществляется очистка грузовых танков. Поперечные гофрированные переборки имеют гофры, расположенные как вертикально, так и горизонтально. У продольных же переборок с

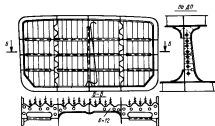


Рис. 243. Продольная и поперечная переборки на волнистых гирях

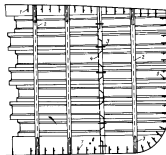


Рис. 244. Продольная и поперечная переборки на корабельных гирях

1 — продольное ребро палубы; 2 — рамная стойка; 3 — кнока; 4 — поперечная гофрированная переборка; 5 — продольное ребро балки; 6 — плоская часть поперечной переборки; 7 — продольное ребро кноки

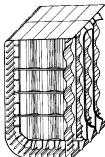


Рис. 242. Гофрированные переборки с вертикальными (поперечная) и горизонтальными (продольная) гофрами

целью участия гофров в работе в составе поперечного сечения корпуса при его обходе киле последние всегда устанавливают горизонтально.

Гофрированные переборки танковок ставят непосредственно на настилы двойного дна и верхнюю палубу, а их шельфы, так же как и на плоских переборках, используют в качестве площадок для трапов, которые иногда выполняют в виде ступенек, приваренных к соседним вертикальным стойкам.

Поперечные переборки в бортовых танках имеют отклонение высоты к ширине, близкое к двум, и рациональной системой набора для них считается система с горизонтальными ребрами или гофрами. Однако из технологических соображений в случае установки вертикальных стоек, опирающихся на горизонтальные шельфы, в центральных и бортовых танках применяют такую же систему набора.

Гофрированные переборки в основном изготавливают из двух профилей: волнистого гофра (рис. 243) или коробчатого гофра (рис. 244).

9.3. Некоторые особенности конструкций переборок

В последние годы для перевозки насыпных и навалочных грузов строят крупнотоннажные специализированные суда, в трюмы которых грузят и перевозят в них очень тяжелый груз в виде руды и железного лома. С целью обеспечения достаточной местной прочности поперечные переборки на таких судах иногда делают двойными (рис. 245).

Трапециевидные основания поперечных переборок (днишки) являются основаниями как для двойных, так и одиночных гофрированных поперечных переборок. Наклоненные стенки основания обеспечивают осанку груза под лопы для захвата его грейферами. Для этой же цели нижнюю часть бортов выполняют также наклонной (рис. 246). Обе наклонные конструкции соединяются между собой в месте их пересечения.

Трапециевидное основание представляет собой прочную конструкцию, обеспечивающую опору для сильно загруженных днищевых перекрытий. В верхней части переборки для упрощения монтажа гофрированной переборки устанавливают коробчатую опору (рис. 247). Конструкция подкреплений трапециевидной опоры и гофрированной переборки, установленная на ней, показана на рис. 248. На этом рисунке представлено также подкрепляющий набор опоры при продольной системе днища. Конструкция

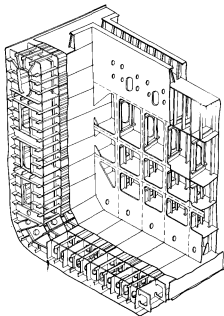


Рис. 245. Двойная переборка

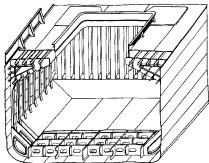


Рис. 246. Гофрированная поперечная переборка судна для насыпных и навалочных грузов, установленная на традиционном оребрении

подкрепленной верхней коробчатой опоры гофрированной переборки при поперечной системе набора палубного перекрытия изображена на рис. 249.

С каждым годом в составе транспортного флота увеличивается количество контейнеровозов. Многие из этих судов имеют большие размеры и очень высокие скорости. Контейнеровозы всегда строят с широким раскрытием палуб. Для увеличения общей продольной прочности этих судов под палубой между шпангоутами прокладывают мощные балки (рис. 248), которые приклеиваются к общему продольному изгибу корпуса продольными пропаянными переборками. На крупнотоннажных контейнеровозах для увеличения мостной прочности при больших размерах трюмов в дополнение к водонепроницаемым переборкам по середине трюмов предусматривают двойные пропаянные поперечные переборки (рис. 251).

На поперечных переборках танкеров для восприятия боковых гидродинамических нагрузок от перекачиваемых жидких грузов при килевой качке устанавливают мощные горизонтальные штефты, на которые опирается стойка нефтепроницаемой переборки. На рис. 252 показана плоская поперечная переборка танкера с двойным

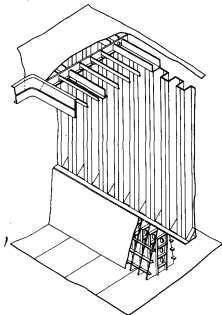


Рис. 247. Коробчатая опора гофрированной переборки у палубы

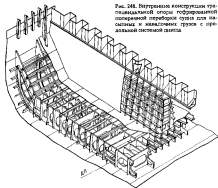


Рис. 248. Внутренняя конструкция транзитной перегородки отборной гофрированной перегородки судна для навалочных и жидкотопочных грузов с продольной системой гребня

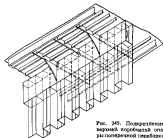


Рис. 249. Подкрепление верхней коробчатой оторы перегородки отборной у палубы

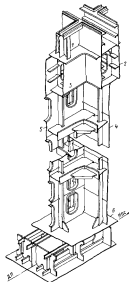


Рис. 250. Угол соединения внутренней перегородки с продольной перегородкой в ДП у верхней палубы при парных отсеках

1 — продольный элемент; 2 — балка под поперечными элементами; 3 — поперечная балка; 4 — поперечная перегородка; 5 — продольная перегородка; 6 — второе дно

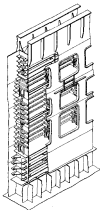


Рис. 251. Двойная переборка контейнеро-вого модуля между потопочными контейне-рами соседних отсеков

дном и двумя шельфами. Эти шельфы крепят к продольным переборкам и бортам водными книжками (рис. 253), а иногда вместе с бортовыми стейнгером и шельфами продольных переборок они образуют замкнутые горизонтальные рамы. Стойки переборок проходят через отверстия в шельфах, и их крепят к ним книжками, которые устанавливают снизу или сверху шельфа.

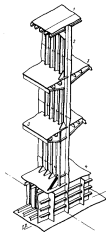


Рис. 252. Шельфы потопочной переборки таккером с двойным дном

1 — жесткая плита; 2 — соединяющая переборка; 3 — шельф; 4 — жесткий дном

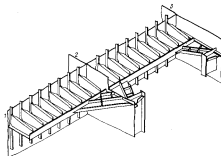


Рис. 253. Конструкция шельфа потопочной переборки и его соединение с продольной переборкой и бортом

1 — потопочная переборка; 2 — продольная переборка; 3 — борт

9.4. Расположение и толщина листов переборок

Каждое потопочное литье переборок судового корпуса образуется из листов, которые подкрепляются балками набора, однако выбор расположения листов и назначение их толщины играют большую роль в создании конструкции с минимальной массой и улучшенными технологическими качествами.

Листы переборок могут располагаться как горизонтально, так и вертикально, и целесообразность того или иного решения зависит от выбора той или иной системы расположения набора на потопочные переборки.

Горизонтальное расположение листов, принятое на большинство судов, позволяет изменять толщину листов в зависимости от изменения действующих на переборку усилий. Большая часть переборок находится под гидростатическим давлением воды в нормальных эксплуатационных условиях и при аварийных затоплениях отсеков, и оно достигает максимальной величины в самой нижней части переборок. Кроме этого, при горизонтальном расположении листов удобно делать усиление более изнашивающихся от коррозии листов, расположенных в нижней части переборок, а для таккером — в верхней

части. Особое значение это имеет для нижней части переборок в машинном и котельном отделениях, где при высоких температурах, влажности, воздействии отходов масла и грязной воды наблюдается повышенная коррозия.

Наиболее распространенное вертикальное расположение ребер жесткости переборок при горизонтальном расположении листов приводит к большому количеству мест пересечения сварных швов, выполнение которых требует дополнительных технологических операций, предотвращающих возникновение опасного местного напряженного состояния (резонансического концентратора).

Если сварные швы листов и сварные швы, присоединяющие стойки к листам, имеют вертикальное направление, то из-за уменьшения количества пересекающихся швов уменьшаются сварочные деформации, на правку которых затрачивается много времени и труда. При горизонтальном расположении листов и балок набора переборок деформации также уменьшаются, и усадку конструкций контролировать проще.

При вертикальном расположении листов переборок и стоек толщина листов по всей высоте приходится назначать такими, какие требуются для самых нижних районов переборок, а это ведет к некоторому увеличению массы переборок.

В некоторых случаях при вертикальных стойках можно использовать смешанное расположение листов, при котором горизонтальными делают самые нижние листы, а для танкеров и самые верхние, и то время как остальные листы устанавливают вертикально.

3.5. Выбор расположения набора переборок

Крепление листов переборок балками набора осуществляют с помощью вертикальных стоек или горизонтальных ребер жесткости. Вертикальные стойки могут подкрепляться горизонтальными шельфами (см. рис. 252), роль которых на многослойных судах выполняют промежуточные палубы.

При действии местной нагрузки в виде давления воды основной набор переборок целесообразно устанавливать параллельно короткой стороне спорного контура перекрытия. При отклонении ширин переборок к ее высоте $B/H > 2$ следует располагать на одинаковом расстоянии от другой только один вертикальный стойки. Горизонтальные же ребра жесткости целесообразно устанавливать только на высоких и узких переборках при $B/H \leq 0,5$.

У гофрированных переборок роль стоек и одновременно листов обшивки играют гофры, которые могут стоять вертикально и горизонтально. На судах для перевозки навалочных грузов гофры переборок всегда ставят вертикально, для того чтобы груз свалился на настил второго дна. С этой же целью между гофрами с обеих сторон переборки у краев замыка помещают наклонные листы (см. рис. 248).

Если бортовые перекрытия судов имеют продольную систему

набора, а на поперечных переборках закреплены вертикальные стойки, то следует с обеих сторон переборок по концам продольных ребер устанавливать горизонтальные кницы, доходящие до первых стоек переборок (рис. 254). То же самое необходимо делать и в случае гофрированных поперечных переборок, которые у самых бортов приваривают к специальным листам; последние на уровне продольных ребер должны иметь кницы или короткие ребра, доходящие до первого гофра (см. рис. 242). Горизонтальные кницы используют и для бортовых стрингеров (см. рис. 239).

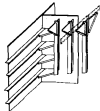


Рис. 254. Крепление к стойке поперечной переборки привального набора бортов

Для удобства проведения грузовых операций набор форпиковой и актерпиковой переборок, а также переборок машинного отделения целесообразно располагать внутри отсеков, образуемых этими переборками.

Как правило, набор переборок устанавливают только с одной стороны листов, однако на крупнотоннажных судах с целью восприятия сосредоточенных усилий при постановке в док доковые стойки предусматривают с обеих сторон половины поперечных переборок.

В доковых стойках, воспринимающих сосредоточенные усилия в своей плоскости, в месте приложения этих усилий возникают большие напряжения, которые по мере удаления от района приложения нагрузки быстро уменьшаются. Это позволяет делать доковые стойки с переменной жесткостью по высоте.

Поперечные водонепроницаемые переборки на ледоколах для восприятия ледовых нагрузок следует изготовлять плоскими. Все главные переборки должны иметь горизонтальные ребра, и на участке между наружным и внутренним бортом эти ребра должны устанавливаться нормально к бортовой обшивке. Набор переборок форпика и актерпика желательно ставить нормально к бортовым обшивкам. Такая установка части балок набора в наклонном положении, т. е. с наименьшими углами наклона, несколько усложняет технологию изготовления переборок.

Контрольные вопросы

1. Укажите назначение продольных и поперечных переборок.
2. Каковы главные размещения переборок внутри корпуса?
3. Что Вы знаете о главных подкреплениях переборок у бортов?
4. Какие условия действуют на переборки?

3. В чем состоит отличие конструкций металлических переборок на суднах грузовой плавки и на танкерах?
4. Когда применяются двойные переборки?
5. Опишите характерные особенности гофрированных переборок.
6. Как располагается палуба и набор металлических переборок?
7. Поясните разницу в конструкции прочных и легких переборок.
8. Какова роль переборок при посылке судна в док?

Глава 10. КОНСТРУКЦИЯ НОВОСОВОЙ И КОРМОВОЙ ОКОНЕЧНОСТЕЙ СУДНА

10.1. Типичные конструкции носовой и кормовой оконечностей

Конструктивные чертежи любого судна, на которых схематично изображено местоположение переборок, поперечного и продольного набора перекрытий корпуса, а также различных выгородок, платформ, люков, горловин, убеждают, что наиболее сложными являются конструкции, расположенные в носовой и кормовой оконечности.

Обшивка корпуса обшив бортов, образующая водонепроницаемую оболочку, в оконечностях соединяется на мощных концевых балках — форштевень и актерштевень, в результате получается заостренная балка. Оконечности заканчиваются форштевнем в носу (рис. 255) и актерштевнем — в корме (рис. 256). Форштевень и актерштевень представляют собой мощные листы (рис. 255) или сварные литые балки часто сложной фигурной формы (рис. 258). Форштевень вместе с носовой оконечностью должен обладать особенно большой прочностью на изломах, который приходится с полного хода разбивать по льду и торосы. Большой прочностью должен обладать и актерштевень, так как для однопалубных судов он служит опорой для дейдвуда и гребного вала. Верхняя часть актерштевня обеспечивает опору для гелимпортовой трубы и кранштейна, на которые навешивается перо руля при подвесных рулях (рис. 259). На судах, плавающих по льду, для увеличения прочности руля актерштевень в нижней их части имеет опору, называемую палкой актерштевня, которую отливают заодно с актерштевнем и прочно крепят к набору в актерштевне и к листам обшивки (рис. 260). В последнее время конструкции форштевней и актерштевней делают сварными, состоящими из нескольких отдельных частей, свариваемых между собой. Встречаются также форштевни, изготовленные полностью из согнутых листов. Такие форштевни выполнены на всех судах типа Т-3 (танкеры военных лет постройки см.: Бороваго И. В. Конструкция корпуса морских судов. М.: Судостроение, 1963, рис. 433). Листовые актерштевни также широко использовались на строящихся судах.

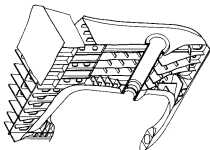


Рис. 255. Сварной листовой металлический с лентой

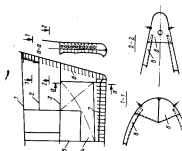


Рис. 256. Схема конструкции форштевня с листовыми форштевнями на танкере типа Т-3
1 — палка, актерштевень; 2 — гофрированный; 3 — гофрированный; 4 — гофрированный; 5 — форштевень; 6 — форштевень; 7 — форштевень; 8 — гребной вал

Рис. 257. Лотай формирования

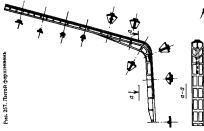


Рис. 258. Конструкция лотого
аппарата к внутреннему
молотому конструкциям

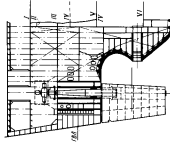
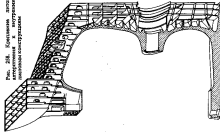


Рис. 259. Аппаратная с рамой, открывающаяся толь-
ко на горизонтальной плоскости трубы
I - верхняя накладка II - лотай вращающийся III - лотай
аппарата IV - труба V - привалка VI - стальной
настил аппарата

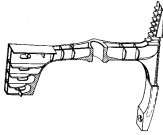


Рис. 260. Аппаратная с лотай для соединения
открытия пера рван

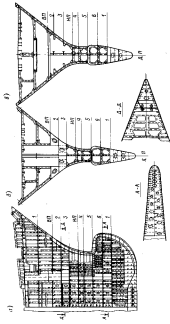


Рис. 3(а). Конструктивный продольный разрез нижней секции стержня с - по ДПН; δ - 8-й шаг, см; в виде $\theta = 10^\circ$ шт., см. в рис. 3(б)

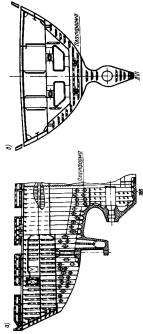


Fig. 2.7. Kontinuumstheoretische Modellierung des Kristallwachstums. a - no JET; b - JET; c - JET + JET₂. (nach [10])

Во всех случаях для обеспечения достаточной прочности штевней требуется установка мощных подкреплений внутри корпуса в оконечностях. Такие подкрепления для носовой оконечности можно видеть на рис. 261 и для кормовой оконечности — на рис. 262. Эти два рисунка представляют собой продольные конструктивные разрезы носовой и кормовой частей судна. Подкрепления состоят из ряда продольных и поперечных пронизываемых переборок и платформ, расположенных в форштеве (носовая штевень) и в актерштеве (кормовая штевень). Кроме этих подкреплений в форштеве размещаются еще и косые бимсы, которые соединяют противоположные борта без установки по ним янгов. Они выполняют роль распорок.

В последние годы почти на всех судах делается бульбовые носы и виде выступающей в подкилевой части бульбообразной наделки*.

16.2. Усилия, действующие на носовую оконечность, и особенности конструкции носовой оконечности

На надстройке баса находятся якорные и швартовные механизмы (рис. 263), которые при заливании во время шторма испытывают динамические воздействия масс воды и передают их на палубу. Большие усилия в палубных перекрытиях баса возникают при подъеме и опускании якорей. Кроме этого, в морской практике часто выполняет буксировку во льдах вплотную к корме педколы или буксировку на движном буксире, когда через якорные клюзы вытравливают участок якорной цепи, к которой присоединяется буксирный трос. В условиях буксировки создаются усилия, которые должны безопасно восприниматься конструкциями носовой оконечности под палубой. Там же располагается цепной ящик для хранения якорных цепей.

Значительные динамические усилия передаются на носовую оконечность при швартовке суров на волнении и стоянке у причала через швартовные концы, проходящие через клюзы фальшборта и закрепленные на кнехтах.

При установке полнообойничков-ограждений у кормы баса (рис. 264) с целью предотвращения сильных ударов волн о палубный груз при заливании прочность этих ограждений должна быть достаточной, и они должны прочно соединиться с внутренними конструкциями надстройки баса, а также опираться на переходные кнехты с обеих сторон.

Особенно большие усилия на носовую оконечность действуют при ударах о днище и в расвал борта, которые иногда вызывают серьезные повреждения конструкций в носовой оконечности. До настоящего времени внешние нагрузки определяются весьма приблизительно, и их

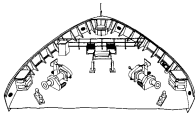


Рис. 263. Ограждения на баса, механизмы и приспособления для удержания тросовыми и швартовными опорами

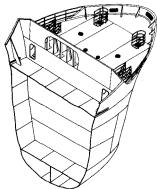


Рис. 264. Полнообойнички на баса с передвинутыми кнехтами к фальшборту за басы и на баса

*См. также: Г. В. Вязкина Бульба в носовой оконечности на сдерживание движения в обломах льда // Проектирование, теория и практика судов, плавающих во льдах / Мажур, об. / ГИИ Горький: ГИИ, 1980.

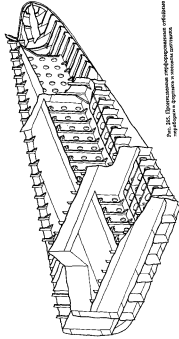


Рис. 305. Проектные stiffening-элементы обшивки палубы и форма в плановом сечении

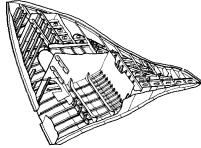


Рис. 306. Детали конструкции в формовочной части борта

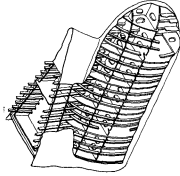


Рис. 307. Детали конструкции в носовой оконечности с бортами

величина зависит от мастерства судоводителей. В конструкциях появляются остаточные деформации, в результате которых особенно часто повреждаются набор и кишки в районе развала бортов. Возникают остаточные деформации и в днище. Иногда удары вызывают даже полный отрыв носовой оконечности, а также потерю устойчивости палубными перекрытиями и отрыв стоек фальшборта бака от листов палубного настила.

Отсеки форштея используются для приема балласта или пресной воды. С целью предотвращения ударов от пережимающейся жидкости внутри отсека устанавливаются продольные и поперечные проназданные переборки, а также платформы с отверстиями (рис. 265), которые вместе с острыми обводами носовой оконечности всегда обеспечивают в подводной их части достаточную прочность как обыкновенным носовым оконечностям (рис. 266), так и оконечностям с бутылочными обрешечиваниями (рис. 267).

Отбойную проназданную переборку располагают в III внутри бульба (рис. 268), когда протяженность бульба в нос от носового перпендикуляра больше 0,03L. Ее подкрепляют стойками на каждом шпангоуте. Бульб во всех случаях должен подкрепиться горизонтальными платформами — диафрагмами, расстояние между которыми не должно быть больше 2 м. Внизу диафрагмы должны ставиться на каждом шпангоуте.

Формы бутылочных носов разнообразны. В зависимости от формы носа определяется его конструкция, иногда ее подкрепляют поперечными проназданными перфорированными переборками (рис. 269).

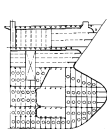


Рис. 268. Продольная отбойная переборка на судне с бульбом

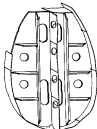


Рис. 269. Поперечная отбойная переборка в бульбе

В корму за переборкой форштея до сечения 0,15L от носового перпендикуляра на уровне стрингеров и форштея устанавливаются бортовые стрингеры на расстоянии не более 2 м один от другого.

10.3. Усилия, действующие на кормовую оконечность, и особенности конструкции кормовой оконечности

При проектировании конструкций в кормовой оконечности и в районе актеристена очень трудно с достаточной точностью определить величину действующих усилий, и поэтому до настоящего

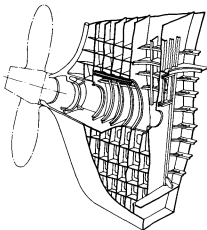


Рис. 270. Конструкция у входа гребного вала

времен размеры валов и их расположение назначают по успешно эксплуатировавшемуся прототипу или определяют по Правилам Регистра СССР.

Форма кормовой оконечности судна и ее конструкция в значительной степени зависят от того, сколько винтов имеет судно. При одновальном установке гребной вал проходит через дейдвуд (салник), опирающийся на яблочно старин-поста актеритення и актеритенную поперечную переборку. При этом флоры в актеритенке должны быть пропущены достаточно высоко над дейдвудной трубой, и по их верхней кромке требуется устанавливать подкрепления. Отгибать фланцы у флоров не разрешается. При длине судна более 200 м флоры должны доводиться до плитформы, расположенной выше дейдвудной трубы. Между флорами должны располагаться brackets снизу и сверху дейдвудной трубы и доводиться до старин-поста (рис. 270). Круглые вырезы во флорах подкрепляют поясками по кромке вырезов.

Наиболее сложную конструкцию актеритенки имеют трехвинтовые лодкоходы, корма которых должны обладать достаточной прочностью при движении судна во льдах задним ходом. Кроме того, частые поломки лопастей винтов вызывают сильную вибрацию кормы, отрицательно влияющую на все детали актеритенки, дейдвуда, шара руля и их креплений внутри корпуса.

Конструкция лодочного актеритенки атомного лодкохода, состоящего из сваренных между собой отдельных стальных отливок старин-поста, рудерпоста, яблочка старин-поста, гальмпертовой трубы и пятки актеритенки, приводится во втором издании учебника (Борисов Н. В. Конструкция корпуса морских судов. М.: Судостроение, 1963, рис. 453).

На двухвинтовых судах в ДП валопровод отсутствует, старин-пост и рудерпост могут быть совмещены (рис. 271). При этом винты расположены по бортам, а гребные валы уходят в сторону от корпуса, с тем чтобы можно было разместить винты в пределах корпуса. Для этой цели в корпусе закрепляют кронштейны гребных валов так, как это схематически показано на рис. 272, в самой же корме подвешивают перо руля, опирающееся в нижней своей части на пятку актеритенки.

Таким образом, при наличии винта в ДП достаточно иметь одну концевую опору при выходе вала из корпуса в яблочке старин-поста. Выходящий наружу консольный участок гребного вала имеет небольшую длину и не требует дополнительных опор. При двухвальной или трехвальной установке гребных валов для возможности крепления на их концах винтов гребные валы требуются пропнуть на значительное расстояние в район кормового сужения. Для создания опор гребного вала в шпангоут-флорах делают выкружки с круглыми отверстиями, в которых устанавливают дейдвудные трубы (рис. 273). Отдельные сечения по выкружке гребного вала даны на рис. 274. В результате

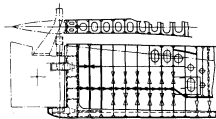


Рис. 271. Старин-пост двухвинтового судна

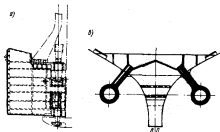


Рис. 272. Закрепление кронштейнов гребных валов двухвинтового судна: а — руль (в ДП между кронштейнами); б — схема установки кронштейнов

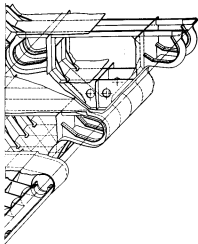
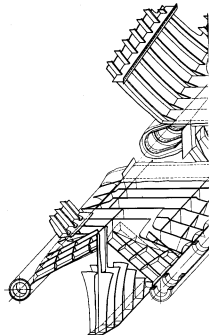


Рис. 273. Конструкция корытовой опантовки и района выходной дуги вала (выкрутка гребня вала)

этих мероприятий в корпусе по его бортам в кормовой оконечности возникают местные плавающие выпуклости (выкружки). У кормового конца выпуклости для обеспечения водонепроницаемости конструкции устанавливаются ступица-мортира. Мортира, как и яблочно старпоста на одностоповых судах, иногда является единственной опорой для выступающего за корпус участка гребного вала с посаженным на его конус винтом. На большинстве судов, однако, длина выходящего за корпус участка вала такая большая, что требуется еще одна дополнительная опора в виде кронштейна (рис. 272).

На кронштейны гребных валов действуют следующие усилия:

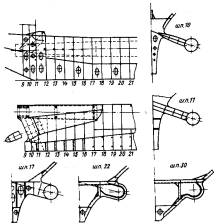


Рис. 274. Соединение в районе выкружки гребного вала

переменные по величине и направлению усилия, вызываемые неравномерностью гидродинамических давлений на лопасти винта при его вращении;

постоянные усилия от веса гребного винта и конца вала за mortирой;

случайные аварийные усилия, которые возникают в результате повреждения и потери лопастей винта при деформациях вала или при действии динамических нагрузок от галла.

Практика эксплуатации судов показала, что в аварийных случаях усилия, действующие на кронштейны, имеют значительно большую величину, чем усилия в нормальных условиях плавания. Поэтому прочность деталей кронштейнов проверяют как на постоянно действующие усилия в нормальных условиях эксплуатации, так и на случайные усилия при авариях.

Прочность кронштейнов гребных валов рассчитывают упрощенными методами для стальных конструкций кронштейнов и подкреплений корпуса в районе их установки.

Для судов транспортного флота размеры кронштейнов и деталей крепления устанавливают на основе обобщения данных эксплуатации большого числа судов разных типов, которые приводятся в документах классификационных обществ.

Контрольные вопросы

1. Назовите детали стальных и оконечностей.
2. Приведите примеры конструкций оконечностей разных типов судов.
3. Какие усилия действуют на носовую оконечность?
4. Какие усилия действуют на кормовую оконечность?

Глава 11. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА СУДА

11.1. Основные понятия. Место технологичности в алгоритме проектирования

Судовой корпус состоит из многих функционально и геометрически связанных конструктивных объектов: листов обшивки, балок набора, многочисленных бракет, ребер жесткости, книц и т. д. Свойства

конструктивных объектов предопределяет возможность рассмотрения корпуса судна как сложной системы К („Корпус“). Система является частью более сложной системой С („Судно“), которая, в свою очередь, есть часть еще более сложной системы Ф („Флот“) и т. д. Каждая система характеризуется своими целями, структурой и поведением.

Цель системы К – обеспечение функционирования всей системы С в трудных, нерегулярных условиях эксплуатации судна (район Мирового океана, сезон, характер загрузки судна и т. д.), при установленных сроках службы судна – обеспечение надежности и функционирования судна.

На рис. 276 приведены некоторые примеры взаимосвязей между конструктивными объектами разных уровней и определены иерархические уровни К и С.

Поведение системы, или процесс ее функционирования на протяжении всего срока ее службы от появления технического задания до окончания и разборки судна на слом – это процесс проектирования, постройки и эксплуатации и составе более сложной системы. В связи с этим можно говорить о качестве системы, определяемом потребительной стоимостью конструкции в составе судна. Качество можно рассматривать как „совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребности в соответствии с ее назначением“¹.

Стандарт ИСО 8402 „Словарь терминов“ определяет понятие „качество“ как „комплекс свойств и характеристик продукции или услуги, который определяет их способность удовлетворять потребности“. (Потребности обычно выражаются в показателях, отражающих свойства или характеристики. Показатели могут отражать аспекты потребления, безопасности, пригодности, надежности, ремонтопригодности, экономики и окружающей среды.)

Стандарт ИСО 8402 является терминологической базой стандартов серии 9000 по обеспечению и управлению качеством, опубликованных ИСО в 1987 г., которые, по мысли авторов этой серии, создают основы „новой эры управления качеством“.

Любую техническую систему, в том числе и систему К, можно характеризовать разными свойствами, но, как правило, основными из них являются функциональность (Ф-свойство), надежность (Н-свойство) и технологичность (Т-свойство). К этому можно добавить также оптимальность (О-свойство), экономичность (Э-свойство) и др.

Определение основных свойств корпусной конструкции было приведено ранее. Здесь же обратим внимание на понятие „технологичность“ как свойство, определяющее технико-экономические требования производства и эксплуатации и заключающееся в возможности накопления и эксплуатации конструкций при минимальных затратах совокупного общественного труда (труд живой и труд овеществленный,

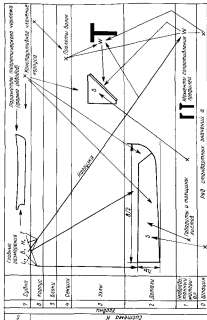


Рис. 276. Схема взаимосвязей (взаимосвязей) между конструктивными объектами разных уровней систем К и С

¹ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.

включающей стоимость материалов, энергии, информации).

При рассмотрении совокупности свойств единственно правильным решением является расположение их в порядке важности для функционирования системы. Очевидно, что нет смысла стремиться к высокому уровню Т-свойства, если при этом не обеспечивается заданный уровень И-свойства и т.д.

Поведение системы К можно представить в виде обмена некоторого количества расходных ресурсов (затраты материалов, живого труда, энергии, информации З) на некоторое количество полученных ресурсов (в виде, например, проделанной транспортной работы Д). Измеряя З и Д в денежном выражении, можно записать, что при нормальном функционировании экономики обмен должен быть строго положительным, т.е. $D - Z > 0$; $(D - Z) \rightarrow \max$.

Так как система К состоит из подсистем K_i ($K_j \in K$), а сама система $K \in S$ и т.д., то можно говорить о сопоставлении или несопоставлении тактических целей подсистем более низкого уровня со стратегическими целями более сложной, более высокой системы. Допустим, что в системе С все детали корпусных конструкций выгодно делать индивидуальными для увеличения массы корпуса и увеличения прироста стоимости судна, а в системе К желательна возможная унификация конструктивных объектов для снижения производственной стоимости. Отмеченное несопоставление целей поведения систем С, К и K_i сразу предопределяет использование для анализа поведения систем и их подсистем одного из основных методов кибернетики — построения математических моделей оптимального управления поведением по обшему критерию.

Моделирование со времен глубокой древности выступало как метод познания, как метод субъективного отражения объективной действительности.

Кибернетическое моделирование как метод управления процессом представляется в виде принципиальной схемы

Алгоритм — Объект — Цель

Обратная связь

В кибернетике под управлением понимается такое воздействие на объект, которое обеспечивает достижение заданной цели, а под обратной связью — информация о реакции объекта на управлѐнное воздействие. Хорошо поставленными обратными связями обеспечиваются успех управления. Под алгоритмом управления понимается способ (правило) достижения поставленной цели.

На рис. 274 приведена принципиальная схема управления проектирования к конкретным условиям такого управляемого процесса, каковы, безусловно, является процесс проектирования корпусных конструкций. Конструкции в этой схеме рассматриваются как объект, характеризуемый набором параметров $D_i = \{d_{1i}, \dots, d_{n_i}\}$. Выбирая конкретные, проектирует в зависимости от него пределы организует систему K_i и управляет поведением этой системы.

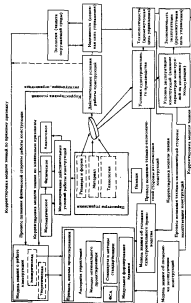


Рис. 274. Схема развитого метода (алгоритма) проектирования и место технологичности модели проектирования (по А. П. Водосвелеву)
ОСА — функционально-технологический анализ

На протяжении столетий творческая мысль судостроителей всегда была направлена на обеспечение основного свойства всех элементов судна как объекта эксплуатации — надежности. Именно этой проблеме во всех ее аспектах уделялось главное внимание. Именно надежность является основной целью проектирования.

Проектанты располагают почти доскональной информацией в виде правил классификационных организаций, Норм прочности, различных требований Международных конвенций, для того чтобы с высокой степенью вероятности исключить принятие технических решений, в которых не предусмотрено обеспечение надежности. Однако задача проектирования корпусных конструкций никогда не была только задачей обеспечения надежности. Надежность — основа и конечная цель проектирования конструкций, но пути к этой цели можно разными путями: быстрее или медленнее, дороже или дешевле.

Еще в 1921 г. вице-адм. Ю. А. Шмидский указывал, что классификационные правила не всегда дают наиболее технически целесообразные и выгодные конструкции корпуса, поэтому отступления от них, приводящие к облегчению веса корпуса, упрощению работы, его долговечности, являются желательными. Это понимали всегда, но в последние годы во всем мире заметилось общее беспокойство за слишком активное расхищение всех видов ресурсов. Когда оно коснулось судостроительного производства, стали активно искать пути повышения эффективности судостроения: снижение трудоемкости, уменьшения массы корпусов (в том числе и корпусных конструкций), снижение сроков и стоимости постройки судов. В проектировании появилось новое направление, связанное с обеспечением технологичности.

Обеспечение технологичности, характеризующей возможность изготовления и эксплуатации изделия при минимальных затратах совокупного (живого и общественного) общественного труда, должно выполняться при непремennom сохранении требуемого уровня надежности и функциональности. Поэтому в схеме рис. 276 технологичность представлена как промежуточная цель управления процессом проектирования, подчиненная основной цели — надежности. Потребовалось глубокое изучение процессов изготовления и эксплуатации конструкций для включения в алгоритмы проектирования правил и требований к конструкциям, обеспечивающих их производственную и эксплуатационную технологичность.

В последние годы в алгоритмы проектирования включаются также методы обеспечения технологичности, как стандартизация, унификация и типизация конструкций.

Метод функционально-стоимостного анализа — специфический метод проектирования, обеспечивающий системное исследование объекта путем отказа от предметного подхода, свойственного существующей практике. За основу исследования принимается функция (функции), которую (которые) проектируемый объект должен выполнять. Этот метод соединяет воедино технику и экономику и обладает большими возможностями, так как он применим для анализа изделий, структур, организаций и технологий. Примеры использования метода

при проектировании корпусных конструкций пока единичны.

Модульное формирование техники (построение техники на модульном принципе) — комплектование разнообразных технических систем с большим различием характеристик из небольшого, экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых первичных образцов элементов — модулей.

11.2. Пути обеспечения технологичности конструкций

Повышение эффективности судостроительного производства традиционно идет в механизацию (замене ручного труда механизмами и машинами), а затем и в автоматизацию производства.

Разработка теоретической базы обеспечения технологичности судостроения требует выбора стратегии поиска наиболее эффективных направлений работ в этой области. Ряд исследований СПИМТУ позволил в качестве организационной формы обеспечения технологичности судостроения предложить создание системы «Отраслевое обеспечение технологичности» и ее подсистем — «Корпус», «Судовой энергетической комплекс» и выполнение необходимых научно-исследовательских работ для создания такой информационной базы и помощи проектинту, чтобы с высокой степенью вероятности исключать принятие технических решений, в которых не предусмотрено обеспечение технологичности.

В настоящее время могут быть названы два пути обеспечения технологичности: модульное судостроение и система комплексной стандартизации (рис. 277). Возможно совершенствование отдельных технических решений в ходе частных усовершенствований некоторых конструкций корпуса, поиск более технической формы корпуса, оптимальной по техническим и экономическим критериям оценки и т. д. Такой путь решения задач технологичности можно назвать *локальным*.

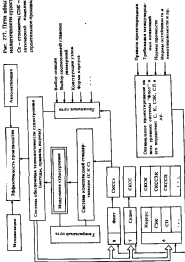
Чем выше мы поднимаемся по иерархическим уровням системы «Судно» — от деталей к узлам, комплексам, подсистемам, — тем выше становится абсолютное значение относительного экономического эффекта, полученного в результате повышения степени технологичности изделия данного уровня. Один процент снижения стоимости на уровне «Судно» на два-три порядка означает одного процента снижения стоимости на уровне, например, «Узлы».

Следует обратить внимание на важную особенность судостроения: технические решения, принятые на ранних стадиях проектирования (например, при разработке эскизного проекта), уже невозможно скорректировать на последующих стадиях. Отсюда практический вывод: максимум внимания (и соответствующих научно-исследовательских работ) по обеспечению принципов технологичных решений именно на ранних стадиях проектирования судна.

Если сосредоточить усилия на решении задачи обеспечения технологичности на высших уровнях иерархии — «Судно» и «Флот», — то, по нашему мнению, открывается генеральный путь обеспечения

Рис. 277. Пути обеспечения технологичности судостроения

Сл — станок; СМК — станок с ЧПУ; СП — станок с программным управлением



технологичности — переход на модульный принцип формирования всей судовой техники, в том числе корпусных конструкций на базе комплексной стандартизации судостроения. Однако переход к методам комплектования судов из сборочных единиц — модулей — способен дать наибольший экономический эффект, если будут творчески разработаны и организационно осуществлены меры по ограничению того многообразия конструктивных решений, которое наблюдается в настоящее время.

В частности, многообразие форм и размеров конструкций явно вошло в противоречие с попытками механизации производства на основе отдельных усовершенствований или экстенсивного наращивания мощностей, приводящих к затрате огромных средств без существенного повышения технического уровня производства и производительности труда. Коротко это выглядит так: надо поднимать проектные решения в соответствии с современным производством без ущерба для функциональных качеств создаваемой техники. Можно даже выдвинуть лозунг: «Новые технологии — новые проектные решения!» И здесь на первый план выступают изобретатели новых технических решений. Можно показать, что между деятельностью изобретателя, стремящегося ко всему новому, оригинальному, и стандартизатора, держащегося за устоявшиеся, повторяющиеся решения, нет antagonистических противоречий; их примирит экономист, ищущий оптимальные решения по общим для всех заинтересованных лиц народнохозяйственным критериям.

Таким образом, можно назвать следующие основные пути обеспечения технологичности:

- оптимизация конструкций по критериям технологичности в границах традиционных решений;
- активный поиск новых технических решений, отвечающих новым технологиям;
- решение глобальной задачи модульного формирования техники, интегрирующей все другие пути.

Чтобы успешно идти по этим путям, надо понять, что такое технологичность, не путать ее с понятием технологии и, наконец, усвоить, что обеспечение технологичности — дело рук и ума проектировщиков.

11.3. Показатели технологичности

Свойство «технологичность» должно быть величиной измеримой. Это дает возможность выйти от общих, практически мало что говорящих качественных оценок типа «более или менее технологичная конструкция». Представляется удобным ввести показатели технологичности, смотря на них как на величины, изменение которых количественно характеризует результаты работ по обеспечению технологичности. Удобно также разделить их на две группы — технические показатели и экономические показатели. Оба вида показателей могут быть выражены как в абсолютных величинах, так и в относительных.

Как правило, конструктивные изменения приводят к изменению массы m , трудоемкости T и стоимости конструкции C . Эти же величины непосредственно (например, масса) или опосредованно (например, стоимость) отражают и влияние работ по обеспечению технологичности на экономико-ресурсов. Логично принять m , T и C в качестве основных показателей технологичности.

Технические показатели технологичности. Их основное достоинство — неизменяемость и постоянство масштаба единиц измерения. Например, масса конструкции во все времена и в любой стране одинакова*, что дает возможность сравнивать по этому показателю конструкции вне зависимости от времени и места их проектирования и изготовления.

Имеет право на существование и так называемые частные технические показатели, характеризующие какие-либо отдельные конструктивные, технологические или эксплуатационные параметры конструкций, например относительная длина цилиндрической вставки, количество примененных типов размеров профильного и листового проката, длина сварных балок, удельное значение применения ручной и автоматической сварки, степень унификации и стандартизации конструкций, коэффициент использования металла и т. д.

Понимая, что и с некоторой осторожностью (все-таки живой труд, а не металл), к техническим показателям можно отнести и трудоемкость изготовления конструкции T . Обычно T измеряют в человеко-часах, и эта величина или ее отношение (затраты на 1 т конструкции и т. д.) указывают на успех (или неуспех) соответствующего принимаемого технического решения.

Обратим внимание, что к относительным величинам вида человеко-час/тонна надо относиться очень осторожно: число человеко-часов, затрачиваемое на изготовление 1 т конструкций сухогрузного судна, сильно отличается от числа человеко-часов, затрачиваемых на изготовление, скажем, 1 т конструкций ледоколов. Но если мы знаем, что на верфи A на стране A на эту конструкцию затрачивают 180 чел.-ч/т, а на верфи B на стране B на аналогичную конструкцию — всего 15 чел.-ч/т, то уже можно делать серьезные выводы.

Экономические показатели технологичности. Оценка конструкции в денежных единицах удобна тем, что она позволяет привести различные показатели технологичности к одному эквиваленту.

Структуру производственной себестоимости корпусных конструкций можно выразить формулой $C_{\text{кр}} = C_m + C_{\text{тр}} + C_u + C_z$, где C_m — стоимость материалов; $C_{\text{тр}}$ — стоимость труда; C_u и C_z — цеховые и заводские расходы.

Средние значения соответственной величин в нашей стране составляют $C_m = (0,40 \div 0,45)C_{\text{кр}}$; $C_{\text{тр}} = (0,10 \div 0,15)C_{\text{кр}}$; $C_u + C_z = (0,50 \div 0,40)C_{\text{кр}}$. Механизация и автоматизация способствуют уменьшению трудоем-

кости изготовления конструкций, но при этом неизбежны часто большие капитальные вложения на создание технических средств механизации и автоматизации. Эти затраты в виде дополнительной доли косвенных (цеховых и заводских) расходов переносятся на стоимость конструкций, увеличивая ее. Разумеется, снижение трудоемкости не должно сопровождаться таким увеличением капитальных затрат на технические средства производства, которое приведет к увеличению производственной стоимости конструкций, т. е. $(C_{\text{кр}})_{\text{изм}} < (C_{\text{кр}})_{\text{стар}}$. Если же это условие не выполняется и $(C_{\text{кр}})_{\text{изм}} > (C_{\text{кр}})_{\text{стар}}$, то можно говорить только о социальных эффектах — уменьшении доли малоприятельского и опасного ручного труда или о неграмотном ведении хозяйства.

В схеме модернизация — автоматизация — стандартизация последней принадлежит далеко не последняя роль в повышении эффективности производства. Во-первых, стандартизация, как правило, существенно упрощает многообразие технических систем, сокращает количество типовых элементов конструкций, переводит производство из индивидуального или малосерийного в крупносерийное или даже массовое с его неоспоримым преимуществом — существенным уменьшением единицы продукции. Во-вторых, открывается возможность упрощения механизированных и автоматизированных процессов проектирования и изготовления конструкций (например, в системе автоматизированного производства благодаря повторяемости одинаковых решений уменьшается объем программного обеспечения в банке данных), возможность обоснованного отказа от универсальной оборудования или гибких производственных систем и вытекающего отсюда снижения затрат на создание технических средств автоматизации и механизации.

С позиций народного хозяйства в целом, а не только одной ее отрасли, какой является судостроение, затраты ресурсов на достижение определенных целей использования системы C ($C_{\text{судно}}$) или Φ (Φ — флот) складываются из стоимости создания этой системы и затрат на ее функционирование — стоимости эксплуатации. Такой показатель принято называть приведенными затратами (ПЗ): $\text{ПЗ} = E_0 C_0 + C_1$, где E_0 — нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат; C_0 — производственная себестоимость судна или, что правильно, цена судна для морского флота; C_1 — эксплуатационные расходы.

При исследовании проблем технологичности во всем мире широко пользуются показателями m , T , C — трудоемкости T и весом редко — стоимостью C . Доступность и простота нахождения массы конструкции уже отмечалась. К сожалению, нормативная база определения трудоемкости изготовления конструкций довольно груба и не позволяет с необходимой точностью оценивать изменение трудоемкости при изменении многих параметров конструкций Φ .

*Если не обращать внимания на различие в величине ускорения галактики на экваторе и полюсах.

*Стандартизация традиционно базируется на предположении об универсальности и унификации.

Определение стоимости – самая трудная часть оценки работ по обеспечению технологичности, так как точность определения отдельных составляющих стоимости незначительна и сильно подвержена серьезным колебаниям в зависимости от конъюнктуры цен на материалы, живой труд, оборудование, энергию на внутреннем и мировых рынках.

Использование показателя „Приведенные затраты“ возможно только на верхних уровнях системы К. Когда удается построить математическую модель для исследования его изменения под воздействием результатов работ по обеспечению технологичности. Оборотом также является то, что сравнение конструкций по любым экономическим показателям должно выполняться очень осторожно: стоимость единицы материала, одного человеко-часа может сильно отличаться не только в разных странах, но даже и на разных верфях. Экономические показатели сильно подвержены влиянию рыночной конъюнктуры.

Все это говорит об относительности свойства технологичности конструкции, высокотехнологичная в одних условиях (состояние промышленности, соотношение цен на материалы и труд и т. д.), может оказаться самой неудачной, нетехнологичной в других экономических и организационно-технических условиях.

Сделаем некоторые основные выводы из вышесказанного:

1. Успехи обеспечения технологичности конструкций находятся в руках проектантов.
2. Технологичность конструкций – свойство относительное.
3. Новым технологиям нужны новые конструктивные решения.
4. В практике судостроения есть немало примеров обеспечения технологичности конструкций корпусов.

Накопленный опыт решения задач обеспечения технологичности конструкций отражен в обобщающей монографии М. К. Големиче „Технологичность конструкций корпусов морских судов“. П.: Судостроение, 1984. С некоторыми примерами реализации локальных путей обеспечения технологичности (проблема выбора шпанов, высокотехнологичные узлы корпусных конструкций и др.) читатель познакомился при изучении соответствующих разделов учебника. Здесь же мы кратко рассмотрим проблему модульного судокорпусостроения.

11.4. Модульное судокорпусостроение

Переход на модульное формирование техники определяется как генеральный путь обеспечения технологичности (рис. 177). Такое утверждение вытекает из рассмотренной закономерности развития техники, технических систем (в дальнейшем Т-систем). Сейчас в развитии техники прослеживаются следующие закономерности:

социальная необходимость в удовлетворении постоянно растущих разумных потребностей ведет не только к непрерывному числу количественному увеличению выпуска разнообразных Т-систем, но и к

непрерывному увеличению разнообразия их функционального назначения;

расширение и усложнение спектра реализуемых функций Т-систем вызывают увеличение количественных требований к параметрам (дальности, скорости, температуры) и прочим элементам Т-систем;

приходит быстрое моральное старение техники;

увеличиваются длительные сроки проектирования и организации производства Т-систем;

бурное развитие техники сопровождается очень быстрым (опережающим) ростом многообразия элементов Т-систем без существенного улучшения их качества и без увеличения многообразия их функций.

Все сказанное справедливо и для судостроения.

Среднестатистическое увеличение многообразия техники („типоразмерный взрыв“) привело к тому, что производство и эксплуатация (последняя даже больше) стали испытывать избыток этого многообразия. Начался интенсивный поиск путей укрощения „типоразмерного взрыва“. В связи с этим справедливы следующие утверждения:

Т-система может удовлетворять своему функциональному назначению, имея различную структурную организацию;

в сообществах Т-систем (их стали называть техносистемами по аналогии с сообществами живых существ – биосистемами) с большей вероятностью возникает в экономическом смысле те системы, которые имеют в своем составе больше общих элементов.

Сейчас принято общие элементы, встречающиеся в разных Т-системах, называть модулями, а Т-системы, содержащие однокровные элементы-модули, – системами, построенными на модульном принципе.

Термин „модульное формирование техники“ (МФТ) – наиболее общий, полностью отражающий именно стратегический характер концепции. Сущность МФТ – комплексование разнообразных истинно-данных комплексов с большим различием характеристик и функций из небольшого, экономически обоснованного количества типов и типоразмеров одинаковых элементов (типовых или стандартных) общих элементов-модулей*. Модуль в таком понимании – это самостоятельная конструктивно и технологически завершенная модель, имеющая автономную документацию на изготовление, полностью собранное, прошедшее функциональную проверку и готовое к монтажу. Модули могут легко соединяться, образуя сложные Т-системы, разъемными и заменяться при ремонте или модернизации с целью получения систем с другими компонентами и характеристиками.

Основное преимущество МФТ – наличие потенциальной возможности обеспечить предактуальное, или до начала проектирования Т-систем, упорядоченное состояние их элементов. Модульное формирование техники позволяет избежать „технического хаоса“ и его следствия – необходимости последующей унификации.

*Подробнее см.: Волынов А. Л. Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 1985. 238 с.

Модульное формирование техники — диалектический путь преодоления объективно сложившихся противоречий между стремлением потребителей получить технику со все большим многообразием функций и стремлением производителей к устойчивому производству однородной продукции. Это проблема многоаспектная. Объектами построения на модульном принципе могут быть почти любая промышленная продукция, а производство которой является вариантами повторяющихся технических решений, и почти любые технологические и информационные процессы, в которых имеются варианты повторяющихся ситуаций.

Принято различать модуль-меру и модуль-изделие: конструктивные (КМ) и функциональные (ФМ) модули. Применительно к судокорпусостроению под КМ можно понимать модуль-панель (МП), модуль-секцию (МС), модуль-блок (МБ) и соединительные модуль-узлы (СМУ) — плоскостные или объемные типовые корпусные конструкции, из набора которых можно формировать различные районы корпусов и надстроек судов разнообразных архитектурно-конструктивных типов. Для практической реализации такой схемы постройки корпусов и надстроек разработаны типовые размеры ряды МП и МС.

Область технически возможного и целесообразного по экономическим критериям применения МП, МС и СМУ довольно ограничена, она определяется формой обводов корпуса, длиной цилиндрической вставки и т. д. Поэтому применение КМ в судокорпусостроении должно рассматриваться как комплексная задача, успех решения которой, в первую очередь, определяется на начальных этапах проектирования судна. Разработанные типовые размеры ряды МП и МС применимы для корпусов судов внутреннего и смешанного плавания и корпусов плавающих буровых установок.

Контрольные вопросы

1. Какова роль технологичности при проектировании корпусов кораблей?
2. Охарактеризуйте технологичность как свойство, определяющее технико-экономические требования производства.
3. Каковы возможности существования в обеспечении смежных трудоемкости и сроков постройки судов за счет технологичности конструкций?
4. Назовите пути обеспечения технологичности конструкций судна.
5. Какие Вы знаете показатели технологичности?
6. Что такое модульное судостроение?

1. Барabanov Н. А. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1981. 328 с.
2. Он же. Конструкция фальшбортов сварных судов, свариваемых на волнении (в порядке обсуждения) // Судостроение. 1966. № 4. С. 4.
3. Он же. Местная прочность фальшбортов может быть обобщена // Там же. С. 12.
4. Он же. Некоторые вопросы проектирования палубных // Там же. 1978. № 3. С. 3.
5. Он же. Поле напряжений в пластике, ослабленном прямоугольным вырезом. Владивосток: ДВПИ, 1953. С. 1.
6. Он же. Применение усовершенствованных конструкций судов ледового плавания и ледоколов // Сб.: Пример, крайнее применение НТО им. А. Н. Крылова. Владивосток, 1983. Вып. 25. С. 4.
7. Барabanov Н. А., Бойков В. А. Опыт эксплуатации судов ледового плавания // Судостроение. 1987. № 12. С. 3.
8. Барabanov Н. В., Лобачев В. А., Исаев Н. А. Ледовые нагрузки на движущие конструкции судов // Там же. 1982. № 11. С. 9.
9. Барabanov Н. В., Вратисин О. И. Целесообразность замены палубных фальшбортов прочно соединенными с швертбрусом // Там же. 1987. № 6. С. 2.
10. Барabanov Н. В., Яковлев В. М. Вербалльные технологии для Дальнего Востока и северных стран на базе одного проекта // Там же. 1988. № 10. С. 5.
11. Барabanov Н. В., Исаев Н. А., Куликов В. А. Ветерная нагрузка при шквальных и трансформации носовых движителей кораблей // Там же. 1985. № 5. С. 26.
12. Барabanov Н. В., Козыров М. П. Вопросы применения расфран бортов на крупнотоннажных промышленных судах // Там же. 1984. № 11. С. 5.
13. Барabanov Н. В., Дудченко В. Т. О технологии сварки корпусных конструкций // Там же. 1986. № 1. С. 41.
14. Барabanov Н. В., Сидяков В. А. Обобщение исследований в области уточнения путей для расчета концентрации напряжений в перемычках связи судового корпуса // Материалы IX-й науч.-техн. конф. ДВПИ. Владивосток: ДВПИ, 1976. Вып. 2. С. 5.
15. Барabanov Н. В., Сидяков В. А., Пономев В. В. Концентрация напряжений в перемычках связи корпусов судов. Владивосток: ДВПИ, 1971. Вып. 1. 496 с.
16. Барabanov Н. В., Рыбиком Ю. Г. Максимальный универсальный анализ для параболы круглого ледя в пластике // Судостроение. 1981. № 7.
17. Он же. Особенности проектирования конструкций морских ледовиков. Л.: Судостроение, 1986. 176 с.
18. Барabanov Н. В., Чепилов А. Г. Применение поджимных соединений в судных конструкциях // Судостроение. 1987. № 2. С. 9.
19. Барabanov Н. В., Чибриков М. М., Чибриков Л. И. Целесообразность применения поджимных соединений в фальшборте // Там же. 1984. № 5. С. 9.
20. Барabanov Н. В., Кучин А. И., Исаев Н. А. Проектирование проектирования и конструирования фальшбортов // Краткие тез. докл. к конф. Владивосток, 1972. С. 169.

31. Веребков Н. В., Юданов А. И., Рыбалкин В. Г. Эффективность специальных надпалубных конструкций для крепления каравана льда // Судостроение, 1979, № 4.
32. Велицкий Л. М. Большие деформации судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1973, 266 с.
33. Он же. О влиянии остаточных прогибов обшивки при неравномерном действии внешнего сил // Вестник СССР. М.: Транспорт, 1981, Вып. 13, С. 66.
34. Он же. Определение изгибающей жесткости корпусов, подверженных на корпус судна // Судостроение, 1976, № 4, С. 13.
35. Бойцов Г. В. Анализ параметров усредненной корпус судна в условиях воздействия на корпус восточного ледового // Судостроение, 1984, № 10, С. 13.
36. Он же. К вопросу об определении изгибающей нагрузки при обледенении // Там же, 1982, № 5, С. 33.
37. Он же. Оптимизация металлоемкости корпусных конструкций с учетом коррозионного износа // Там же, 1983, № 11, С. 8.
38. Он же. Оптимизация судового корпуса с учетом требований к снижению его металлоемкости и грузовой нагрузки // Там же, 1984, № 3, С. 7.
39. Он же. Оптимизация ячеек судового корпуса с учетом их шибетической нагруженности // Там же, 1986, № 1, С. 16.
40. Он же. Практическая методика определения коэффициентов концентрации напряжений в прерывистых осях судового корпуса // Там же, 1987, № 18, С. 6.
41. Он же. Проблемы оптимизации судового корпуса // Там же, 1983, № 2, С. 5.
42. Бойцов Г. В., Гусев Е. Н., Сыченко А. М. Обеспечение прочностной коррозионной устойчивости судовых плавучих платформ // Механика разрушения и надежность судовых конструкций. Горький: ГИИ, 1983, С. 5.
43. Бойцов Г. В., Кнороз С. Д. Прочность и работоспособность корпусных конструкций. Л.: Судостроение, 1973, 264 с.
44. Бойцов Г. В., Зайцев О. М. Комплексный подход к проблемам обеспечения прочности судов // Проблемы прочности судов. Л.: Судостроение, 1973, С. 71-151.
45. Он же. Прочность и конструкции корпусов судов новых типов. Л.: Судостроение, 1979, 360 с.
46. Кочет А. И. Все жизнь с морем. М.: Транспорт, 1969.
47. Бриккер А. С. Об определении давлений, возникающих при обледенении, по остаточным деформациям обшивки // Тр. ЦНИИ Мор. флота, 1969, Вып. 113, С. 79.
48. Он же. Учет особенностей износа обшивки судов ледового плавания при деформации // Прочность и защита судовых конструкций от коррозии и обледенения // Сб. тр. ЦНИИ Мор. флота. Л.: Транспорт, 1987, С. 46.
49. Бриккер А. С., Эшман М. М. Анализ напряженного состояния ячеек соединенных продольных балок с поларными рамками // Судостроение, 1977, № 11, С. 24.
50. Он же. О конструкции ячеек соединенных продольных балок с поларными рамками // Там же, № 6, С. 39.
51. Бронский А. В. Особенности проектирования морских транспортных судов. Л.: Судостроение, 1971, 337 с.
52. Бронский А. В. Корпусные конструкции судов промыслового флота. Л.: Судостроение, 1978, 188 с.
53. Он же. Необходимо учитывать специфику судов // Судостроение, 1986, № 1, С. 42.
54. Он же. Расчетное обоснование размеров связей неавтоматизированных плавучих платформ // Судостроение, 1983, № 18, С. 9.
55. Бронский А. И., Глозман М. И., Калашников В. В. Оценка выбора конструкций корпусов судов. Л.: Судостроение, 1974, С. 126.

46. Бронский А. И., Кустов В. Н. Конструирование фундаментов под траверзные бортовые якоря // Судостроение, 1985, С. 3.
47. Васильев А. Л. Закрытие грузовых люков. Л.: Судостроение, 1961, 138 с.
48. Васильев А. Л. Стандартизация в кораблестроении. Л.: Судостроение, 1978, 193 с.
49. Велицкий Л. М., Степанов Н. Н. Анализ поврежденный корпусов судов // Судостроение, 1982, № 18, С. 5-16.
50. Волков В. М., Коронкин Е. Д., Радошанин, прочность и надежность материалов и элементов судовых конструкций. Горький: ГИИ, 1985, 45 с.
51. Гаврилов М. М., Бриккер А. С., Эшман М. М. Поврежденные и надежность корпусов судов. Л.: Судостроение, 1978, 216 с.
52. Гарту В. С. Концентрация напряжений в прерывистых осях судового корпуса. Л.: Судостроение, 1987, 183 с.
53. Глозман М. И. Прикладное обеспечение технологичности конструкций корпусов // Судостроение, 1979, № 6, С. 42-45.
54. Он же. Технологичность конструкций корпусов морских судов. Л.: Судостроение, 1984, 296 с.
55. Глозман М. И., Васильев А. Л. Технологичность конструкций корпусов судов. Л.: Судостроение, 1979, 280 с.
56. Грыбков И. И., Эшман М. И., Котылиц Н. Ф. О новых требованиях к ледовым подкреплениям корпусов судов // Вестник СССР. М.: Транспорт, 1972, 170 с.
57. Грузовые суда океанского плавания / А. В. Баскаков, Г. Г. Барков, И. В. Никончик, М. Г. Шыков. Л.: Судостроение, 1973, 248 с.
58. Давыдов В. В., Матвеев Н. В. Доказательства развития прочностных судовых конструкций. Л.: Судостроение, 1973, 202 с.
59. Ерысов Н. Ф., Сеченов О. И. Повреждения и эксплуатационная надежность конструкций судов внутреннего плавания. Л.: Судостроение, 1977, 311 с.
60. Он же. Прочность корпусов и надежность конструкций речных судов. Л.: Судостроение, 1979, 296 с.
61. Ерысов Н. Ф., Шеллерс Г. Г. Метод конечных элементов в задачах гидропластики и гидродинамики. Л.: Судостроение, 1984, 237 с.
62. Зайцев О. М. Сравнительная оценка ледовых сопротивлений конструктивных типов // Судостроение, 1987, № 3, С. 6.
63. Он же. Судна для перевозки льдом грузов. Л.: Судостроение, 1988, 296 с.
64. Зайцев О. М., Петров Е. В. Улучшение ледопрочности ледовых "Мурман" // Судостроение, 1987, № 13, С. 6.
65. Зыбинский Ю. А., Бойцов Г. В., Никитин В. А. Температурное поле в корпусе судов арктического плавания // Судостроение, 1985, № 3, С. 9.
66. Исаев М. А., Никитин В. В. Некоторые вопросы проектирования судовых конструкций с жесткими осями // Вестник СССР. М.: Транспорт, 1981, Вып. 16, С. 88-94.
67. Калашников В. В. Анализ морских прочностных М. Г. Бубнова с учетом надежности // Тр. НПО Судостроения, 1973, Вып. 194, С. 20.
68. Он же. Некоторые вопросы технико-экономического анализа эксплуатационных повреждений и затрат прочностных конструкций морских транспортных судов // Итоги и нормирование деформаций корпусов судов. Л.: Судостроение, 1985, С. 37.
69. Он же. Об оценке предельной прочности сварных, нагруженных изгибом, при обледенении корпусов судов // Тр. НПО Судостроения, 1966, Вып. 85, С. 45-44.
70. Калашников В. В., Зыбинский Ю. А. О предельных повреждениях морских океанских судов от обледенения // Тр. НПО Судостроения, 1967, Вып. 85, С. 37-50.
71. Он же. Построение и анализ долговременных спектров воздействия нагрузок, действующих на элементы и надежность // Тр. ЦНИИ, 1968, Вып. 63, С. 63.
72. Калашников В. В., Ротенберг Д. М., Гарту В. С. Оценка буксирных железобетонных якорей // Судостроение, 1983, С. 5.

73. Кондратович Б. М., Паров Н. А. Пути экономии корпусной стали при изготовлении морских транспортных судов // Судостроение. 1985. № 9. С. 16.
74. Конструкция надстроек и переборок судов корпуса судна // Н. В. Баранов, Н. А. Иванова, Н. М. Чибриков, Г. П. Шеметкин. Владивосток, ДВНН, 1975. Вып. 2. 315 с.
75. Короткий Я. И. Вопросы прочности морских транспортных судов. Л.: Судостроение, 1965. 388 с.
76. Короткий Я. И., Максимович А. И., Ульянен Д. М. Оценка прочности корпуса судна с большими раскрытыми палуб // Прочность и защита судовых конструкций от коррозии и обледенения // Сб. тр. / ИОНН Мор. флота. Л.: Транспорт, 1987. 12 с.
77. Короткий Я. И., Робиневич О. М., Ростоцкий Д. М. Ветровая нагрузка корпуса судна. Л.: Судостроение, 1983. 235 с.
78. Короткий Я. И., Ростоцкий Д. М., Сиварс Н. Л. Прочность корабля. Л.: Судостроение, 1974. 412 с.
79. Кудрявцев Н. В., Глинка Ю. А. Сравнительная оценка конструирования установок уравновешен и неуправляемых конструкций стали в крутящих моментах // Вестн. машиностроения. 1971. № 1. С. 7-9.
80. Кудрявцев Н. А. Использование метода правдоподобия нагрузок при проектировании яхтенных судов // Сб. докл. научно-технического семинара по морской прочности судов. Л.: Судостроение, 1988. С. 41.
81. Кутсов В. М. Особенности расчета прочности переборок кружатоственных судов // Судостроение. 1977. № 7. С. 6.
82. Он же. Разработка рекомендаций по конструированию корпусов транспортных судов. Л.: Судостроение, 1987. № 1. С. 1.
83. Литвинов О. Е. Суммирование нагрузочных моментов, действующих на корпус судна // Судостроение. 1976. № 2. С. 18.
84. Максимович А. И. Продолжительность эксплуатации и нормирование прочности судового корпуса // Судостроение. 1985. № 4. С. 1.
85. Он же. Прочность морских транспортных судов. Л.: Судостроение, 1978. 312 с.
86. Он же. Селемэр по уменьшению объема ремонта корпуса морских судов // Судостроение. 1984. № 3. С. 51.
87. Он же. Требования к устройству, местной прочности и минимальным строительным толщинам при применении сталей повышенной прочности // Тр. / ИОНН Мор. флота. Л.: Транспорт, 1976. Вып. 186. С. 28-29.
88. Максимович А. И., Боньковский М. В. Вероятность установившегося повреждения пробоины связей корпусов транспортных судов // Судостроение. 1983. № 11. С. 11.
89. Максимович А. И., Новиков О. А., Селюков Л. Г. Нормализованная сталь в судостроении. Л.: Судостроение, 1964. 297 с.
90. Морозов Г. В. Оформление переборок связей судового корпуса при проектировании связей повышенной сопротивляемости // Тр. / ИОНН Мор. флота. Л.: Транспорт, 1974. Вып. 186.
91. Он же. Усиление правил постройки к габаритам транспортных судов // Прочность и защита судовых конструкций от коррозии и обледенения // Сб. тр. / ИОНН Мор. флота. Л.: Транспорт, 1987. С. 3.
92. Маскина О. С. Влияние неравномерного распределения на жесткости устойчивости палубного перекрытия и его конструирование элементов у судов с большими раскрытыми палуб // Проектирование и конструкция корпусов // Тр. / ИОНН. 1973. Вып. 62.
93. Он же. Характеристики устойчивости палубного перекрытия и его конструирование элементов на судах с большими раскрытыми палуб // Судовые и мор. сооружения // Тр. / ИОНН. 1969. Вып. 28.
94. Митчур М. А. Поверхностная нагрузка грузовых трюмов, из расчета и расчет // Реферативный журнал / ВИНТИ. 1983. Вып. 8.

95. Нагрузки исследовались путем изучения данных, индуцируемых тремными волнами // Н. В. Баранов, А. М. Заларов, В. М. Лактинов, С. А. Худиков // Судостроение. 1986. № 1. С. 9.
96. Морские прочности морских судов. 1991. 92 с.
97. Осипов О. А. Эволюция форм потерпевших бедений судов на гидрометеорологических нагрузках, возникающих в результате корабля // Тр. / ИОНН Мор. флота. 1971. Вып. 134. С. 49.
98. Он же. Действие давлений на днище корпуса судна в условиях элементов при изгибах кален // Тр. / ИТО Судостроения. 1971. Вып. 163. С. 105.
99. Особенности напряженности состояний отдельных узлов корпуса // Н. В. Баранов, Н. А. Иванова, Г. Т. Казанов и др. Владивосток: ДВНН, 1977. С. 34.
100. Давид О. М. Актуальные вопросы прочности судов // Судостроение. 1986. № 2. С. 11.
101. Палий О. М., Бойков Г. В. Проблемы прочности судов плавного плавления // Судостроение. 1983. № 1. С. 6.
102. Палий О. М., Тарбин Г. О., Чувпковский В. С. Современные состояния проблем надежности корпусных конструкций транспортных судов // Тр. / ИТО Судостроения. 1985. Вып. 139. С. 43-49.
103. Палий О. М., Чувпковский В. С. Использование физических представлений при анализе и применении численных методов // Тр. / ИТО Судостроения. 1973. Вып. 154. С. 16.
104. Давидов В. Г. Оценка гидрометеорологических нагрузок при бортовых элементах и волнах // Судостроение. 1985. № 12. С. 5.
105. Палий О. М., К. К вопросу о влиянии нелинейности распределения грузоподъемности по трюмам на эффективность прочности судов // Судостроение и мор. сооружения. 1988. Вып. 3.
106. Поверхностные нагрузки конструкций // Н. В. Баранов, Н. А. Иванова, В. В. Шомкова и др. Л.: Судостроение, 1977. 469 с.
107. Поверхностные и пути совершенствования судовых конструкций // Н. А. Баранов, Н. А. Иванова, В. В. Новиков, Г. П. Шеметкин. Л.: Судостроение, 1989. 254 с.
108. Попов Ю. И. К вопросу ядра судна с ледом // Тр. / ПКН, 1985. Вып. 15. С. 25-44.
109. Лоснов В. А. Развитие методов расчета судов на кручение // Судостроение. 1983. № 11. С. 8.
110. Лоснов В. А., Калинин В. С., Ростоцкий Д. М. Вибрация корабля. Л.: Судостроение, 1983. 248 с.
111. Правильная классификация и постройки морских судов. Л.: Транспорт, 1994. Т. 1.
112. Протолов В. Б., Семиченко Д. И., Горюнов Н. М. Конструкция корпуса судов кручения и вычисления плавления. Л.: Судостроение, 1984. 374 с.
113. Прочные судовые гофрированные переборки / А. П. Васильев, М. К. Глазман, Г. А. Павлов, М. В. Филатов. Л.: Судостроение, 1964.
114. Прочность судов кручения плавления // В. В. Давидов, Н. В. Матвеев, И. Н. Сиварс, П. И. Тупиков. М.-Л.: Транспорт, 1978. 520 с.
115. Путов Н. Е. Проектирование конструкций корпусов морских судов. Л.: Судостроение, 1977. 423 с.
116. Рабынович О. И., Ростоцкий Д. М. Качка, катан и кручение судов при движении косым курсом относительно расчетного волнения // Тр. / ИТО Судостроения. 1974. Вып. 8. С. 38.
117. Ремонт судов океанико-блочными методами // Н. В. Баранов, А. А. Гудков, П. С. Ульянов, Л. Ш. Эпштейн. Л.: Судостроение, 1967. 294 с.
118. Рижинский Г. М., Рубин Л. И. О нормализации веса морских судов // Судостроение. 1968. № 5. С. 44.
119. Ростоцкий Д. М. К вопросу о структуре уравнений прочностной связи // Тр. / ПКН. 1946. Вып. 53. С. 165.

128. Он же. Напряжения в обшивке днища, подкрепленной жестким набором, при ударе о воду // *Тр. / НТО Судостроения*. 1969. Вып. 138. С. 158.
129. Ростомов Д. В., Рыбаченко О. М. Игнорирование ударов при движении в определенных условиях относительно деформации корпуса // *НТО Судостроения*. 1968. Вып. 128. С. 56.
130. Рыбаченко Ю. Г. Реальное снижение металлоемкости судов // *Материалы по обшивке корпусов: Повреждения и эксплуатационная надежность судов Дальнего Востока / Пример, крайнее правление НТО им. акад. А. Н. Крылова, Владивосток*. 1988. Вып. 15. С. 29.
131. Рылов А. Н., Хейсин Д. Б. Испытания судов во льдах. Л.: Судостроение. 1985. 267 с.
132. Соколов Г. М. Распределение напряжений около отверстий. Киев: Наук. думка. 1968. 880 с.
133. Соколов Г. М., Тульчин В. Н. Справочник по концентрации напряжений. Киев: Наук. думка. 1978. 410 с.
134. Сиверс Н. М. Расчет и конструирование судовых настилов. Л.: Судостроение. 1966. 306 с.
135. Сиверс Н. М. Расчет и проектирование судовых конструкций. М.—Л.: Транспорт. 1968. 336 с.
136. Сивилев В. М. Исследование новой конструкции набора нефтеналивных судов // *Тр. / Горьк. ин-т ж.-в. вод. трансп.*. 1964.
137. Он же. Краевые деформированности (краевые б-ды) для сталей и сплавов, применяемых в судовых конструкциях // *Тр. / Горьк. ин-т ж.-в. вод. трансп.*. 1973. Вып. 133. Ч. 1. С. 98.
138. Он же. Нарыраживание обшивки продольной прочностью корпуса речных судов // *Оптимизация сварных судовых конструкций: Материалы по обшивке корпусов*. Владивосток. 1988. № 25. С. 56.
139. Он же. Определение минимальных толщин обшивки судна, выполняющей как стали повышенной прочности // *Судостроение*. 1959. № 2. С. 7.
140. Он же. Проектирование корпусов сварных судов из легкого сплава // *Судостроение*. 1962. № 1. С. 8.
141. Он же. Проектирование обшивки речных стальных судовостроительных профилей // *Тр. / Горьк. ин-т ж.-в. вод. трансп.*. 1974. Вып. 132. С. 10.
142. Он же. Пути создания рациональных судовых конструкций из стали повышенной прочности // *Реч. транспорт*. 1955. № 1. С. 17.
143. Справочник по строительной механике корабля: В 3 т. / Г. В. Войков, О. М. Палей, В. А. Пастухов, В. С. Чумаков. Л.: Судостроение. 1962. Т. 1—3.
144. Суслов В. П. Об эксплуатационных нагрузках, действующих на корпуса судов на морском волнении // *Тр. / НКМ*. 1978. Вып. 126. С. 15.
145. Суслов В. П., Каченов Ю. П., Спасского В. Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости. Л.: Судостроение. 1972. 312 с.
146. Тудвич Г. О. Анализ прочности судов с дисперсными раскрытыми палуб // *Проблемы прочности судов*. Л.: Судостроение. 1975. С. 338—363.
147. Он же. Об определении напряжений и деформационных параметров стенового кручения судов с большим раскрытым палуб // *Тр. / ШНИИ им. акад. А. Н. Крылова*. 1971. Вып. 264. С. 48.
148. Тудвич Г. О., Гребенев Я. П., Зыгидей М. М. Метод расчета местной прочности днища при сжатии // *Судостроение*. 1973. № 1. С. 14.
149. Теоретические и практические вопросы прочности и конструкции маршевых судов / Н. В. Баранов, А. М. Захаров, В. Н. Лапкин, С. А. Худяков // *Науч.-техн. сб. / Регистр СССР*. Л.: Транспорт. 1980. Вып. 5. С. 56.
150. Тютков Ю. С. Расчет прочности настилов с учетом податливости поперечных связей обшивки корпуса // *Строительная механика корабля* // *Тр. / НТО Судостроения*. 1963.
151. Он же. Проектирование нагретых простенков комбинатов // *Судостроение*. 1967. № 4. С. 1.
152. Троицкий И. М. Определение реакций простенковых переборок на настилы // *Тр. / Горьк. ин-т ж.-в. вод. трансп.*. 1967. Вып. 14.
153. Он же. Расчет настилов с большими отверстиями в стенках // *Там же*. 1969. Вып. 27.
154. Усталостная прочность элементов металлоконструкций / Н. В. Курдюков и др. Тез. докл. на конф. по повреждению. Владивосток. 1969. С. 14—16.
155. Чумаков В. С. Динамический изгиб корпуса судов при ударе о волновые высоты // *Тр. / ШНИИ им. акад. А. Н. Крылова*. 1968. Вып. 265. С. 16.
156. Он же. Конструктивно-технологическая прочность и абсолютная надежность корпусов конструкций // *Судостроение*. 1978. № 8. С. 3.
157. Он же. Системный подход при анализе прочности и проектировании корпусов конструкций. Проблемы прочности судов. Л.: Судостроение. 1975. С. 3.
158. Чумаков В. С., Палей О. М. Основы теории надежности судовых корпусов конструкций // *Судостроение*. 1985. 324 с.
159. Шмидтман Ю. А. Динамический расчет судовых конструкций. Л.: Судостроение. 1949. 446 с.
160. Он же. Проектирование продольных связей судового корпуса. Л.: Судостроение. 1948. 160 с.
161. Зыгидей М. М. Болванов В. П. 1 к действующим Правилам Регистра СССР // *Судостроение*. 1983. № 1. С. 12.
162. Он же. Взаимодействие универсализированной фольгабортной сварки судов // *Там же*. 1984. № 4. С. 12.
163. Он же. Об опыте конструктивного оформления корпусных конструкций // *Там же*. 1985. № 4. С. 38.
164. Он же. Новые Правила Регистра СССР // *Там же*. 1985. № 12. С. 7.
165. Он же. Специализированные концентраторы напряжений в корпусных конструкциях // *Там же*. 1988. № 12. С. 10.
166. Akita Y. Recent Development of Naval Architecture in Japan // *FRADS*. Tokyo. 1988. P. 0-21—0-23.
167. Akita Y. Statistical Trend of Ship Hull Failure // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 419—425.
168. Antonio A. C. A Survey on Cracks in Tanker under Repairs // *FRADS*. Tokyo. 1977. P. 143—151.
169. Arino K. et al. Vibration Problem of Jackup Oil Rig // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 467—475.
170. Baranov N. W. Structural Design of Sea-Going Ships. M.: Mir. 1976. 528 p.
171. Baranov N. W., Jansen N. A. Hydrodynamische Druck im Vorschiff bei Slaming. Schiffbauingenieur-Symposium. Rostock. DDR. Heft 3. 1975. 178 S.
172. Baranov N. W., Jansen N. A., Bakker V. A. Damage and Way of Improving Ship Bottom Structures Navigating in Ice-Converted Seas // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 421—429.
173. Baranov N. W., Bakker V. A. Beschädigung von Bodenkonstruktionen bei Schößen in Eisfahrt und ihre Vermeidung // *Schiffbauingenieur*. Rostock. DDR. N 1. 1986. S. 31.
174. Baranov N. V., Jansen N. A. Suber Belastungen bei Slaming und die Projektierung von Bodenkonstruktionen // *Schiffbauingenieur*. Rostock. DDR. N 3. 1986. S. 165.
175. Hattori K. Improved Shape of Bracket Top, Dimension at Ship Damage Symposium, San. Nax. Arch. Japan. 1985. 317 p.
176. Jia K., Kohmi T. Very Low Cycle Fatigue Strength of Ship Structural Steel // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 413—421.
177. Kawahara M. Ship Damages and Transient Strength of Ships // *JSSA*. Japan. N 638. 1982. P. 7—12.
178. Kawahara M. On the Sea Damages and Whipping Vibrations of Ships // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 547—555.
179. Lee J. W. On the Optimization Design of Soft Box Structure // *FRADS*. Tokyo and Seoul. 1983. P. 429—437.

172. Johnson E. Cat-Oyst in Shipstructure Design // FRACS. Tokyo and Seoul. 1983. P. 531-536.
173. Nao M. Detail Design of Hull Structure // FRACS. Tokyo and Seoul. 1983. P. 525-531.
174. Ohnishi T. et al. On the Ultimate Strength of Bow Construction (Bow in Collision) // FRACS, Tokyo and Seoul, 1983. P. 635-643.
175. Tadauchi Y. Full Scale Measurements of Container Ship // FRACS. Tokyo and Seoul. 1983. P. 517-525.
176. Yonemoto Y. et al. Analysis of Distress Structural Damage of a Bulk Carrier // FRACS. Tokyo and Seoul. 1983. P. 11-15.
177. Muzimolli. Economic Factors at Standardization of Ship Hull Longitudinal Strength // IBME. Kobe. 1990. V. 88. P. A-7-9 - A-7-15.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Авария конструктивная 14, 20, 21
Атмосфер 222, 241, 269
Ахтерштевень 276
Ахтерштевень 194, 296, 306

Вал 127, 262, 300
— удлиненный 127, 262
Валка клеповая 64
Валка набора 42, 45, 47, 145, 218, 278
Восклицательные соединения 55, 58
Ворсовые перекрытия 288, 289, 216, 217,
212, 224, 229
Высота 108, 189, 121, 123, 193, 233
Врестьян 295
Гульб 61, 303, 364

Выборы 253, 254, 255, 306
Волновая труба 278
Волноотбойник 341
Второе дно 60, 85
Выкружки пробные вали 306, 308, 309
Вырез бортовой см. Лидер
— двоякий 163, 174, 179
— шаловый 163

Гидроэрозия труба 194, 306
Грузовой тал 159

Двойная палуба 137, 139
Двойное дно 60, 85, 110, 216, 224
Двойной борт 83, 218, 219, 215, 224,
230, 236
Докладная обшивка 89, 263
Допыток 62, 77, 95, 96, 302
Докладная перекрытия 39, 63
Докладная стойка 144

Железная точка 253, 255, 258, 261

Затопляемость 114, 158

Кабанжское (гребенное) плавание
107
Карты 144
Катерини (ваши) 82
Качество продукции 302
Киль боковой (основной) 242, 244

Клисон центральный 65
— вертикальный 65
— горизонтальный 65
— двоякий 64
— тупой 64, 123
Клисон соединения 55
Клисон 147, 145, 177, 204, 263, 296
Клисонировка 118
Клисон 56, 193
Концентрация напряжений 160, 181,
183, 252, 255, 257
Корыто осконечность 386
Корфиды 105
Корфиды гребного вала 305, 307, 310

Лидер 165
Лидер нагрудок 245
Лидер 119, 121, 245, 254, 306
Лидер 188
Лидер осконечности 185, 263
Лидер крышки 155
Лидер 262
Лидер 85, 87

Маст нагрудок 5
Маст нагрудок пространство 59
Маст нагрудок перекрытия 129
Маст нагрудок перекрытия 322
Маст нагрудок 318

Нагрудок 67, 68, 155
— двоякий перекрытия 7
— двоякий перекрытия 7
Нагрудок перекрытия 204, 249
Нагрудок перекрытия см. Трени
Нагрудок перекрытия 249, 280, 281, 283, 289
— баша 262
— корыто 266
— осконечность 249
Нагрудок перекрытия 136
Нагрудок перекрытия 262
Нагрудок перекрытия 40
Нагрудок осконечность 61, 68, 262, 285,
290

Обшивка 279, 280

Образ 66
Оригинальные листы 129, 132
Оригиналы в обложке 159

Палубы 136
Палубные швары 136, 159
Парные листы см. Оригиналные листы
Платформа 51, 127, 129
Переборки аллюминевые 278, 279
— алюминиевые 278
— главные 278, 279, 283
— гофрированные 183, 291
— железные 270
— задние 278
— неперпендикулярные 278, 272
— кормовые 270
— лобовые 270
— обшивные 58, 77, 275, 304
— плоские 278
— поперечные 273, 254, 279, 277, 282, 283
— продольные 270, 275, 276, 277, 282
— трапециевидные 278
— фальшборты 255
— фальшпанель 270
Перекрытия 144, 277
Пиллары 64, 158, 129
Пилотеры 388
Пилотеры 127, 232
Подъемные подвешивания 307, 267, 269, 262
Подкрепление шваров 183, 184
Полнотрубная шестерня 158, 255, 218
Полнотрубный корпус 211, 212, 218, 233
Полукорпус 181, 304
Присоединительный пояс 47, 72
Присоединение ребра (балки) 278, 293
Пятка аллюминевая 304

Расширенная задняя часть 241
Разногласия 99
Рамы 211
— функциональные 99, 108
— штамповочные 211, 236, 238
Распорки 211, 238, 232, 233
Расширенная часть 264
Рубка 249, 250, 252, 253

Сетки (балки) 68
Сетки корпуса катеров (швары) 82
— — — — — швары 82
— — — — — третий 84
— — — — — четвертый 84
Соединение листов 89, 128, 130
Соединение листов 128, 130
Система набора 124, 142
— клепанная 96, 97
— комбинированная 97
— поперечная 83, 239, 211, 235, 233, 236
— продольная 83, 212, 230
— стальной см. Система набора стальной

Система набора стальной см. Система набора стальной
Система набора стальной см. Система набора стальной
— — — — — стальной 71, 219, 222
— — — — — стальной 77, 210
Стружкины углы 343
Стандартизация 322
Стар-пост 306, 307
Стекло 197, 208, 281, 282, 305
Стойка-контроль (фальшборты) 188
Строитель бортовой 218, 211, 212, 236, 228, 244, 283
— стальной 58, 100
— стальной 85, 244
Суммарная нагрузка 83
Суммарная нагрузка 310

Танкер 211, 272, 286
Технологичность 308, 321
Технические листы 121
Технические листы 121
Трапециевидная опора (домов) 78, 79, 91, 284
Трени 264, 266

Ударные нагрузки 116, 119
Узлы конструктивные 49
— пересечения 49
— соединения 49
Узлы переборки 254, 278

Фальшборты 188, 194, 196, 197, 202, 206, 287, 283
— плавающие 207
Фальшборты 74, 77, 86, 95
Фигурный корпус 69, 187
— комбинированный 107
— открытый 107
— стальной 61, 68
— стальной 107, 189
Формы 278
Формовые 294, 296
Фундамент под главный двигатель 103, 228

Центральный корпус 187
Шальф 211, 286, 291, 292
Швары раскрытия палубы 129
Штамповочные 211, 212, 213, 236, 236, 248
Шваровый порт 197, 204, 289

Эффективный коэффициент концентрации 49, 51, 52, 121
Эквивалентный борт 99
Эквивалентное расположение шваров 174
Ю 266
Якорно-шваровый 306, 318

Учебное издание

Бережков Николай Васильевич

КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА МОРСКИХ СУДОВ

В двух томах

Том 2. Местная прочность и пространственная оптимизация корпусных конструкций судов

Учебник для вузов

Редакторы Н. Н. Долгачев, Н. П. Сантимо
Художественный редактор Ю. М. Виноградов
Переплет художника В. В. Виноградов
Технический редактор Н. Ю. Мотомова
Корректор А. Н. Овчинников
ИБ № 1365

Подписано в печать 26.05.80. Формат 60 x 88 1/4. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Печать офсетная. Усл. п. л. 28,58. Усл. экз. 28,58. Усл. экз. 28,58. Тираж 1000 экз. Цена 1000 экз. 80.00 экз. 80.00 экз. 80.00 экз.

Издательство „Судостроение“, 19065, С.-Петербург, ул. Гоголя, 8

Набрано в издательстве „Судостроение“ на наборно-печатающем автомате оператором Т. В. Лебедевой

Отпечатаано в Государственный типографии № 4 г. Санкт-Петербурга при Министерстве печати и информации Российской Федерации. 191125, г. Санкт-Петербург, Социалистическая ул., 14.