

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
КОРПУСНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ СТЕКЛО-
ПЛАСТИКА**

■
А. И. ВАГАНОВ
А. П. КАЛЫЧКОВ
М. А. ФРИД

Отдел учебников

435761

БИБЛИОТЕКА
Деп. корабл. строительства,
инс-тута



ИЗДАТЕЛЬСТВО «СУДОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАД 1972

Книга «Проектирование корпусных конструкций из стеклопластика» включает в себя основные сведения о стеклопластике как конструктивном материале, основные конструкции пластмассовых судов, основы проектирования элементов конструкций и сведения о технологии их изготовления.

Особое внимание обращено в книге на поведение стеклопластиков при длительном нагружении.

Вместе с технической литературой в книге приведены обширные данные о конструкциях пластмассовых судов особенно больших размеров океанской и международной постройки.

Рассмотрены конкретные примеры в новых конструктивных решениях. Отдельная глава посвящена специальным вопросам, связанным со спецификой яхтных судов.

В книге показаны основные положения и методы проектирования и расчета типовых соединений. Проведена оценка конструкций с парной комовой склеиванием их изготовлением.

В книге помещены таблицы — 27, иллюстрации — 147, библиография — 70 названий.

Рецензенты к. т. н. В. А. Батюг, инж. А. В. Розин
Научный редактор В. П. Лукьянов

БАТЮГ АНАТОЛИЙ МАКСИМОВИЧ
ЛУКЬЯНОВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ
РОЗИН АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРПУСНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Редактор Смирновский Л. Л.
Технический редактор Р. К. Митрофанов
Корректоры: Л. Г. Виноградова, В. Л. Макарова
Оформление галереи
Младшая редактор Е. М. Осипова

Сдано в набор 10/1 1972 г.
Подписано к печати 12/12 1972 г. М. 0246.
Формат издания 60×90/16. Объем 204 стр. 100 000 экз.
Тираж 1000 экз. Заказ № 1046. Цена 3 руб. 34 коп.
Изд. № 2817-72. Издательство «Судостроение», 19740.
Ленинград, ул. Гоголя, 8.

Динаграфическая типография № 6 Главмашинформации
Клиппера по заказу Главмашинформации СССР
19740. Ленинград, ул. Рабочая, 19

От авторов	4
Глава 1. Стеклопластик как конструкционный материал	5
§ 1. Общие сведения о стеклопластике	—
§ 2. Промышленные технологии изготовления конструкций из стеклопластика	8
§ 3. Физико-механические свойства стеклопластика	13
§ 4. Особенности деформирования стеклопластика при длительном нагружении	23
§ 5. Особенности стеклопластика как конструкционного материала	42
Глава 2. Конструктивные типы судовых пластмассовых корпусов и основы проектирования их элементов	46
§ 6. Обзор вариантов проектирования корпусных конструкций из стеклопластика	—
§ 7. Методы выбора типовых размеров яхтных корпусов	48
§ 8. Конструктивные типы корпусов судов	51
§ 9. Определенные обводы и места палубы	60
§ 10. Набор корпуса с однослойной обшивкой	69
§ 11. Трехслойные корпусные конструкции	79
Глава 3. Конструкции корпусов судов из стеклопластика	88
§ 12. Суда отечественной постройки	89
§ 13. Суда зарубежной постройки	112
§ 14. Общие выводы о состоянии и развитии пластмассового судостроения	126
Глава 4. Соединения и конструктивные узлы корпусов судов из стеклопластика	127
§ 15. Типы и способы соединений	—
§ 16. Формальные соединения	131
§ 17. Болтовые, винтовые и заклепочные соединения	137
§ 18. Конструктивные узлы корпусов	142
Глава 5. Выбор параметров и расчет основных типов соединений элементов судовых конструкций	175
§ 19. О классификации основных соединений элементов судового корпуса	176
§ 20. Типы соединений	178
§ 21. Определенные параметры тарельчатых (шпильных) соединений набора с обшивкой, механических способов наложения	185
§ 22. Факторы, определяющие прочность соединений. Условия подбора	199
Глава 6. Проектирование конструкций яхтных судов	203
§ 23. Общая часть	—
§ 24. Определенные элементы обшивки судов	201
§ 25. Определенные внешние корпусные детали для пластмассовых судов	205
§ 26. Выбор материала и способа формования	217
§ 27. Выбор конструктивных элементов	228
Глава 7. Технологичность корпусных конструкций из стеклопластика и механизация их изготовления	238
§ 28. Технологичность корпусных конструкций	—
§ 29. Механизация изготовления корпусных конструкций из стеклопластика	241
§ 30. Требования к конструкции поддеков при механизированном формовании	248
§ 31. Требования к конструкции баков набора при механизированном формовании	253
§ 32. Разбивка корпусов судов из стеклопластика на секции	257
Литература	270

В последние годы в СССР и за рубежом накоплен достаточно большой практический опыт в области проектирования и постройки пластмассовых судов. Имеются многочисленные отчетные материалы, отражающие результаты научных исследований в этой области. Все эти сведения опубликованы в разрозненных изданиях, что затрудняет их практическое использование.

В настоящей книге обобщены имеющиеся сведения и освещены вопросы проектирования судовых конструкций из стеклопластика.

В первой главе изложены общие сведения о стеклопластике как конструкционном материале и вопросе принципиальной технологии формования из него конструкций. Приведены по возможности большое количество литературы по этим вопросам, авторы сочли возможным изложить материал весьма кратко. Особое внимание уделено полужесткости стеклопластика.

Во второй главе освещаются вопросы, связанные с проектированием конструкций судовых корпусов из пластмасс.

В третьей главе приведены систематизированные сведения о построенных отечественных и зарубежных пластмассовых судах. Эти данные также могут быть использованы в практической деятельности проектных организаций. Аналогичные сведения по отдельным узлам, соединениям, различным конструкциям приводятся в четвертой главе на базе опыта проектирования и постройки судов относительно больших размеров.

Выделены в самостоятельную главу материалы по выбору и расчету основных типов соединений элемента судовых конструкций.

Учитывая специфику проектирования, постройки и эксплуатации относительно малых судов, материалы по этим вопросам изложены в шестой главе. Ряд положений этой главы может быть использоваться при решении аналогичных задач для судов больших размеров (например, вопрос о водонепроницаемости).

В последней, седьмой главе рассмотрен вопрос механизации изготовления корпусных конструкций из стеклопластиков. По мнению авторов, этот вопрос заслуживает особого внимания, если учесть необходимость замены ручного труда.

Книга не претендует на исчерпывающее изложение многочисленных вопросов.

Глава 1 написана А. М. Вагановым и А. П. Калмычковым; главы 2 и 3 — А. М. Вагановым; глава 4 — А. М. Вагановым и М. А. Фридом; глава 5 — А. П. Калмычковым; глава 6 — А. М. Вагановым и А. П. Калмычковым, глава 7 — М. А. Фридом.

А. Л. Тужиком по просьбе авторов написан § 4 главы 1.

В главах 5 и 6 использованы отдельные сведения из исследований, в которых принимал участие Н. Л. Подольский, Г. В. Воронцов и А. С. Роганов.

СТЕКЛОПЛАСТИК КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛОПЛАСТИКЕ

Применение пластмасс для изготовления судовых конструкций стало возможным в результате создания специальной группы пластмассовых материалов — стеклопластиков. Эти материалы по сравнению с металлом и деревом обладают большей относительной прочностью, немагнетны, не корродируют, стойки против гниения и древогояды, дымки и эксплуатации.

Конструкции (даже имеющие сложную форму) из стеклопластиков изготавливают простой формовой без каких-либо дополнительных операций по обработке и доводке. Это удешевляет производство.

К числу основных недостатков стеклопластиков следует отнести тенденцию к изменению свойств в зависимости от условий внешней среды, температуры и влажности, а также высокие значения упругих параметров и сложность к полужесткости. Физико-механические свойства этого материала в значительной мере зависят от применяемого технологического процесса и тщательности его выполнения.

Стеклопластик — материал сложной композиции, основными составляющими которого являются связующее (смола с различными добавками) и армирующий стеклопластик. В качестве связующего для стеклопластиков судостроительного назначения используются главным образом непластифицированные полиэфирные смолы холодного отверждения.

Конструкция также можно изготавливать из стеклопластиков на основе эпоксидных смол.

В качестве армирующих материалов используют широкий ассортимент стекловолоконных наполнителей, включающих стекловолокно (стекловату), стеклотутты и стеклоткани разнообразного плетения.

Смола, обладающая по сравнению со стекловолокном более низкими механическими характеристиками, предназначается для соединения в единое целое полую армирующего материала, а также его защиты от разрушающего действия влаги. Она определяет степень токсичности, горючести, теплостойкости и полужесткости стеклопластика.

Смолы в большей степени определяют технологичность стеклопластика. Их необходимая вязкость регулируется соответствующими тонкоструйными добавками, что позволяет производить работы на наклонных и вертикальных поверхностях. Время отверждения свя-

зующего может изменяться в ту или иную сторону введенным соответствующим ускорителем или замедлителем.

Физико-механические свойства стеклопластика зависят главным образом от вида и количества стекловолоконистого наполнителя, а также от типа связующего. Наиболее равномерные, одинаковые по всем направлениям свойства стеклопластика (материал оказывается близким к изотропному) получают при использовании в качестве армирующих материалов стекловолокна (стекловолокна).

Стекловолокна делят на две группы: химически связанные и стеганые (механически связанные). Широкое применение в судостроении находит химически связанных стекловолокна, представляющий собой хаотически расположенное рубленое волокно, соединенное специальными молекулами.

Стекловолокна легко пропитываются смолой и являются удобным материалом для контактного формирования. Они значительно дешевле стекловолокон. Прочность стеклопластика на основе стекловолокна относительно невелика, но имеет высокую прочность и жесткость при междуслойном сдвиге и высокую ударостойкость.

Стеклопластик на основе стекловолокна целесообразно применять для изготовления малонапряженных (мелких) судов и судовых конструкций. В связи со сравнительно большими толщинами стекловолокна существенно снижается трудоемкость изготовления из них различных конструкций.

Получить наиболее высокую, однонаправленную прочность позволяют так называемые «оривинши» или «стекложгуты» (некрученые однонаправленные волокна). Этот вид армирующего материала используется в местах, где требуется подкрепление конструкции в строго определенном направлении, например в свободных поясах балок набора. Стекложгут — наиболее дешевый стеклоармирующий материал.

Стекложгуты используют при контактном формировании и применяют для производства балок таврового или волособульбового профиля машинным способом (методом непрерывной протяжки). В этих балках жгуты во всех элементах ориентированы параллельно, поэтому стенки профилей относительно слабы на сдвиг. Такие профили следует использовать для связей, в которых основное значение имеют нормальные напряжения (не касательные).

Ровницу применяют также для получения рубленого волокна при изготовлении стеклопластика методом напыления. Полученный этим методом стеклопластик близок по своим свойствам к стеклопластику, армированному стекловолокном и применяется для таких же конструкций.

Ткани, созданные на основе жгута (жгутовые ткани или стеклорогожки), по своим свойствам и стоимости занимают промежуточное положение между стекловолокнами и стеклопластиком. Стеклопластик на их основе обладает высокой ударостойкостью. Часто эти материалы применяют в сочетании со стекловолокном: наружные слои обшивки из стеклорогожки, внутренние — из стекловолокна. При таком арми-

ровании средние слои хорошо воспринимают сдвиговые усилия, а наружные — усилие растяжения или сжатия.

Для получения материала высокой прочности в качестве армирующего стеклонаполнителя целесообразно использовать стекловолокна. Их роль на ткани полотняного переплетения, сатинового переплетения и корды.

Наибольшая прочность и жесткостью обладают стеклопластики, армированные сатиновыми тканями: у них каждая нить основы проходит под определенным количеством нитей утка, а затем над группой таких нитей. Поэтому не имеется крутых перегибов и в отличие от тканей полотняного переплетения. Ткани сатинового переплетения, хорошо укладываются во всевозможные формы и легко пропитываются смолой. Это обуславливало их широкое применение в судостроении.

Для получения стеклопластика с резко повышенной прочностью и жесткостью в одном направлении были созданы кордовые ткани. Последние изготавливают из крученых и некрученых нитей. Нити основы и на крученых тканях связаны относительно слабыми нитями утка и на значительной длине не имеют перегибов. Стеклопластик, армированный кордовыми тканями, применяют для усиления связей в определенном направлении (например, для палубного стрингера, шпрингера, горизонтального ялика, боковых балок и т. д.).

Соответствующим расположением основы ткани и соседних слоев при формировании стеклопластика можно получить материал с широким диапазоном прочностных и упругих свойств по различным направлениям.

Часто в стеклопластике используют комбинацию, например, стекловолокна и стеклорогожки. Применение комбинированных армирующих материалов позволяет снизить стоимость материала и сократить трудоемкость работ по созданию конструкций из стеклопластика.

Непосредственно после изготовления стеклонаполнитель нельзя использовать из-за того, что на стекловолокнах содержится маслянистая крахмальная пленка (замасливатели), которая препятствует сцеплению стекловолокна со смолой, ухудшает адгезию волокон и смолы, а также другие свойства готового стеклопластика.

Для получения качественного стеклопластика замасливатели удаляют, после чего волокна обрабатывают специальными гидрофобными (водоталкающими) составами — аллретами, которые одновременно создают прочную связь стекловолокна со связующим. Эти составы, называемые гидрофоб-адгезионными, значительно улучшают адгезию к определенным типам смол. Их нельзя пропускать использовать с тем или иным связующим.

Приведенная краткая характеристика стеклопластика показывает, что в силу своей природы в способа получения он обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при расчете, проектировании и разработке технологических процессов постройки судов.

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В зависимости от способа формирования и назначения изделия можно применить те или иные технологические операции для изготовления конструкций из стеклопластика. Ниже перечислены технологические операции.

Подготовка оснастки

После проверки оснастки на соответствие заданной форме и размерам производят очистку ее рабочей поверхности и нанесение разделительного слоя, предотвращающего прилипания к поверхности отвержденного стеклопластика.

Подготовка связующего

В смолу вводят специальные добавки, инициаторы и активаторы, способствующие отверждению смолы при комнатной температуре, а также добавки (гигроскопные), предотвращающие стекание смолы с надложной поверхности и снижающие активность экзотермической реакции (замедлители).

Подготовка стеклоармирующего материала

Стеклоармирующие материалы подлежат раскрою по специальным шаблонам, позволяющим изготовить изделие с минимальными отходами и дефектами (складки, перекос и т. п.).

Формование

Процесс преобразования отдельных составляющих связующего и стеклоармирующих материалов в изделие из стеклопластика происходит при последующем отверждении. Основные способы формования корпусных конструкций: контактное (ручное) формование, напыление, формование с эластичной диафрагмой (упругое формование), жесткое формование и непрерывное формование. Выбор того или иного способа зависит от формы и размеров конструкции, от требований, предъявляемых к ней, и от ряда других факторов.

Основным способом изготовления корпусов судов и судовых конструкций является контактное формование, сущность которого — последовательная укладка слоев стеклоармирующего материала на поверхность формы, пропитка его связующим и уплотнение. На форму можно укладывать и заранее пропитанный связующим заготовки стеклоармирующих материалов. При изготовлении плоских изделий процесс укладки слоев и пропитки может быть механизирован.

Достоинством контактного способа является простота его выполнения. Это позволяет наладить его практически на любой производственной базе. Вместе с тем способ имеет ряд существенных недостатков, в котором следует отметить невысокие физико-механические характеристики получаемого материала, низкое качество, сложность механизации процесса и т. п.

Для изготовления валов, корпусов катеров и других малогабаритных конструкций можно частично использовать механизированный способ — напыление, который с помощью специальных аппаратов форсуночного типа на поверхность формы наносит смесь рубленого волокна и связующего.

При использовании этого способа создаются условия для массового производства изделий, резкого увеличения производительности труда и удешевления стоимости работ.

Применение наиболее дешевого вида стеклоармирующего наполнителя (стеклолугута) также приводит к удешевлению работ. При этом исключаются операции по предварительному раскрою и подготовке армирующего материала, снимаются отходы. Основной недостатком способа — низкие прочностные характеристики получаемого стеклопластика, обусловленные малой длиной стекловолокон и их хаотичным расположением.

Формование с эластичной диафрагмой является усовершенствованным контактным способом. Для него используют только одну форму (пуансон или матрицу), на которую последовательно укладывают стекловолоконный материал (пропитываемый заранее или во время укладки). Уплотнение производится с помощью прокладок (диафрагм) из резины или другого эластичного материала, закрепленной термически по периметру формы. Между эластичной диафрагмой и поверхностью формы создается вакуум; под воздействием атмосферного давления диафрагма прижимает уложенный на форме материал.

Уплотнение материала можно производить также за счет избыточного давления на диафрагму сжатим воздухом или водой. Это позволяет получать высокопрочные изделия.

Нередко применяют эти обе разновидности формования с эластичной диафрагмой совместно.

Применение способа позволяет получать изделия с высокими прочностными свойствами, с гладкой внешней и внутренней поверхностями. Недостатками способа являются высокая стоимость оборудования, значительные отходы полиэфирной смолы, а также ограничения, связанные с размерами изделий.

Способ жесткого формования — наиболее старый из всех способов переработки пластических масс. Он основан на одновременном использовании жестких матриц и пуансона. Изделие, получаемое по этому способу, имеет гладкую блестящую поверхность с обеих сторон. Вследствие равномерного распределения и относительно полного содержания связующего его физико-механические свойства выше и однороднее чем у изделия, получаемого описанными ранее способами.

При использовании обогриваемых форм цикл изготовления изделия значительно сокращается, так как формование дается 10—20 мин; температура формования составляет 110—130° С.

Профили, трубы и листовые материалы можно изготавливать различными способами, основанными на механизации процессов полукруглой стеклопластики.

Сущность непрерывного способа заключается в последовательной протирке листов стекложгутов или стекловолокон связующим в ваннах и в протяжке их через отверстия необходимой формы или через валки с одновременным доэкструзией, обеспечивающим усиление отверждения стеклопластика.

В процессе формования конструкций из стеклопластика температура воздуха в помещении должна быть 18—20° С, а относительная влажность — не более 65%.

Отверждение

Отверждение стеклопластика может происходить в форме и по истечении 1—3 суток из формы. После того как изделие вынимает из формы, в течение до менее 15 суток его нужно хранить в условиях, при которых производилось формование (температура, влажность).

С целью повышения производительности и ускорения съема изделий с форм, для ускорения отверждения применяют обогрев (до 80—100° С) конструкций с помощью контактных электрических нагревателей, током высокой частоты, датчанами инфракрасного излучения или в специальных термокамерах.

При снятии готовых изделий с пуансонов или извлечения их из матриц создается опасность повреждения конструкций (особенно монолитных). Для предупреждения таких повреждений при сложных обводах и значительных габаритах формы изготавливают из отдельных секций; набор по возможности устанавливают до снятия конструкций; при значительных габаритах и весе конструкций устанавливают рамы для подъема. Отделить изделие от формы можно с помощью воздуха или воды, которые подводят в зазоры между матрицей и изделием.

Механическая обработка

Механическая обработка состоит в разрезании элементов деталей и обрезке кромок, в сверлении и вырезании отверстий, в зачистке и шлифовании поверхностей.

Для выполнения этих операций обычно применяют ручной механизированный инструмент. Иногда обработку производят на деревообрабатывающих станках, оснащенных специальными режущими инструментами. Механическую обработку можно производить не ранее, чем через 7 суток после окончания формования.

Сборка изделий

Сборка — выполнение различного вида соединений. Так, например, соединение отдельных изготовленного набора с обшивкой осуществляют с помощью приформовочных угольников. Поверхность полонитца в местах установки набора после разметки зачищают инвентарными до первого армирующего слоя стеклопластик. С зачищенного места удаляют грязь, затем его обезжиривают. По линиям разметки прикладывают терез 700—800 мм фиксирующие приспособления — деревянные бруски. К этим брускам с помощью струбцины крепят балки набора. В зазорах между стенкой набора и обшивкой прикладывают приштампованный связующим стекложгут. После этого приформовывают угольники вначале с одной стороны, а затем, после удаления (ударной брусков, с другой).

Накладке для стыковых соединений листов обшивки, палубы с бортом формируются после аналогичной подготовки поверхностей.

Технологический процесс склеивания разнородных материалов (например, металл-стеклопластик) состоит из ошкуривания заготовки и обезжиривания склеиваемых поверхностей, нанесения слоя клея, прижимания соединяемых элементов (деталей, узлов) с помощью грузов или распорок и поддерживания в течение определенного времени.

Корпуса судов из стеклопластика стремятся изготовить монолитными, т. е. без монтажных соединений, однако эта возможность ограничена формой и размерами изделий. При разбивке на секции стараются уменьшать сложную технологическую задачу или отказаться от нее, обеспечивая минимальное количество монтажных соединений.

Так, например, для небольших судов монолитно изготавливают две секции — наружную обшивку и палубу.

Для судов длиной 10—20 м наружная обшивка может состоять из двух секций правого и левого бортов, которые затем соединяют по ДП. Отдельно изготавливают секции переборки. Для крупных судов отдельно могут быть изготовлены днищевые, объемные полонитца и кормовая секция.

Секции на стальной основе подают с приформовочным набором. При этом их стремятся изготовить в чистый размер.

Сборку корпуса судна начинают с установки из кильбласти днищевой секции, на которую затем устанавливают переборки, фиксируемые с помощью специальных монтажных рам и металлических балок. Затем устанавливают секцию палубы.

Стальной основой оборудуют стальной-кондуктором, с помощью которого и днищевой секции поддают и приформовывают секции бортов. После поднятия бортовых секций начинают приформовку переборки к днищу, бортам и палубе. Прокладывают объемные полонитца и кормовую секцию и формируют соединения бортовых и днищевых секций.

После окончания всех формовочных работ корпус подвергают термической обработке.

Окрашивание конструкций

В случае, если поверхность конструкции из стеклопластика не имеет декоративного пигментированного слоя за счет ввода пигмента в связующее при формовании, то ее при необходимости окрашивают после полного отверждения связующего к очистку поверхности.

Контроль качества

Каждый из двух основных процессов постройки судна из стеклопластика — получение материала с определенными свойствами и изготовление конструкций с заданной точностью — может быть самостоятельным источником дефектов. Получение материала с заданными свойствами возможно при строгоем соблюдении технологической технологии режимов и тщательном контроле исходных компонентов.

Коробление и деформация конструкций и нарушение точности размеров могут возникнуть в результате некачественно изготовленной оснастки, неправильного выбора порядка формования, несоблюдения количественного соотношения связующего и наполнителя.

Прямую конструкций из стеклопластика производят на основе результатов пооперационного контроля и контроля качества готовых изделий.

При пооперационном контроле проверке подлежат исходные материалы, оснастка и приспособления, подготовка связующего и наполнителя (в том числе раскрой формующих материалов), режимы и технологические операции формования, сборочно-монтажные работы.

При контроле готового корпуса или его частей проверяют качество материала в изделии, форму и размеры деталей, узлов и секций.

Проверку качества стеклопластика в изделии осуществляют внешним осмотром, с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, посредством физико-механических испытательных образцов.

Выявленные при проверке недопустимые дефекты удаляют вырезанием дефектных участков и вклеиванием целого стеклопластика.

Физико-механические свойства материала проверяют с помощью испытательных образцов, вырезанных непосредственно из изделия. Иногда их вырезают из припусков или из контрольных планок (образцов-свидетелей), изготовленных из тех же материалов и в тех же условиях, что и изделие.

Для обеспечения непроницаемости конструкций применяют заклеивание зазоров специальной уплотнительной пастой. В этом случае проверку качества осуществляют способом, основанным на принципе люминесцентной дефектоскопии (способность проникновения в дефекты специальных жидкокристаллических индикаторов). Этот способ может быть применен для обнаружения любых дефектов и стеклопластике.

Головные суда из стеклопластика, а в некоторых случаях и другие суда подвергают специальным испытаниям на прочность. Виды и нормы этих испытаний регламентированы правилами классификационных обществ.

Охрана труда

При постройке судна из стеклопластика выполняют специальные мероприятия по охране труда, так как процесс изготовления конструкций из полиэфирных стеклопластиков сопровождается выделением в воздух паров стирола, стеклянной пыли и др., которые могут оказывать вредное воздействие на организм человека. Рабочим выдают спецодежду и перчатки (вместо них могут быть использованы специальные защитные пасты), предохраняющие кожу рук от соприкосновения со смолой и стеклянной пылью. Органы дыхания защищают марлевой повязкой.

Для того чтобы в производственных помещениях не накапливалось излишнее количество вредных продуктов, выделяют отдельные производственные участки для выполнения раскроя стеклопластиков, приготовления связующего, формования и сборки конструкций, механической обработки.

Помещения оборудуют системой общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, а в местах наибольшей концентрации вредных продуктов — местной вытяжкой.

Ряд составных частей полиэфирных связующих пожароопасен (ускорители) и взрывоопасен (кацинаторы). Поэтому перевозку и хранение этих материалов осуществляют с необходимой предосторожностью.

§ 3.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Способы определения физико-механических свойств стеклопластиков существенно отличаются от способов определения этих свойств у традиционных материалов. Это объясняется сложностью структуры стеклопластиков и наличием полимерного связующего, что делает их весьма чувствительными к способам изготовления и последующим режимам эксплуатации.

Результаты исследований физико-механических свойств стеклопластиков (табл. 1) опубликованы в литературе в СССР и за рубежом. Применительно к стеклопластиковому судостроительного назначения можно назвать работы М. К. Смирновой, Б. П. Солодова, В. И. Смирнова, В. В. Мерзлякова и др.

Прочностные и деформационные характеристики стеклопластика зависят:

- от типа стеклопластикового связующего;
- от их количественных соотношений в материале;
- от структуры армирования;

Из (1.1) видно, что при $\tau_{д} \rightarrow 0$ прочность стеклопластика зависит от прочности связующего вследствие отсутствия передачи напряжений на волокна.

В зависимости от взаимной ориентации армирующих волокон в соседних слоях стеклопластика, структуры армирования разделяют на простые и сложные [62].

К простым относят структуры, у которых армирующий стеклопластиком материал во всех слоях одинаков, а один и те же волокна параллельны или взаимно перпендикулярны.

Стеклопластик сложной структуры может иметь различные сочетания слоев армирующих стеклопластиком материалов с различным направлением стеклоармирующих волокон; при одинаковых сочетаниях — изменяемое направление волокон по слоям (например, параллельно-диагональная структура армирования).

Прочностные и деформационные свойства стеклопластика примерно соответствуют распределению волокон, так как эти свойства зависят от процентного содержания стекла.

Стеклопластик и его механические свойства создаются во время формирования и во многом зависят от параметров процесса.

Опыт показывает, что в реальных конструкциях реализовать высокие механические свойства стеклопластиков, получаемые в результате испытаний образцов, изготавливаемых в лабораторных условиях, не удается. Это объясняется сложностью выполнения всех установленных для принятого способа технологических параметров, приводящих к дефектам. При контактом методе формирования могут иметь место пустоты и пористость, что снижает прочность и водонепроницаемость стеклопластика. Иногда возникают складки между слоями, снижающие механические характеристики и повышающие концентрацию напряжений, образуются места с недостатком или избытком связующего.

Нарушение температурно-влажностных режимов при формировании, как правило, приводит к значительной ползучести связующего, что с течением времени вызывает снижение механических свойств стеклопластика за счет вымывания связующего и расслоения материала.

Механические свойства стеклопластика и характер арных деформирования зависят от степени нагружения относительно направления армирования. Стеклопластиком с хаотичным расположением волокон (стеклохолест) можно считать изотропным. Их механические свойства во всех направлениях являются почти одинаковыми.

Стеклопластики, армированные только одним переплетением, имеют сложную структуру и обладают определенной симметрией строения. Каждая точка (рис. 1, а) такого материала характеризуется тремя взаимно перпендикулярными плоскостями симметрии механических свойств: плоскостью, параллельной срединной плоскости листа (x_3), и две плоскости, перпендикулярные к ней и взаимноперпендикулярные (x_1 и x_2). Такой материал можно рассматривать как ортотропный.

В основном изучено поведение стеклопластиков при одноосном нагружении. Данные свидетельствуют, что при нагружении вдоль

направления армирования стеклопластика, как правило, можно считать линейно упругими телами. При этом арные деформирования имеют вид ломаной линии (рис. 1, б), что свидетельствует о качественных изменениях передачи усилий. Перелом сопровождается изменением модуля нормального упругости.

При правильной постановке эксперимента на сжатие модуль упругости при растяжении и сжатии равен. Максимальные деформации (предельные) $\epsilon \approx 2-5\%$. Предел прочности при сжатии не равен пределу прочности при растяжении (см. табл. 1). Разрушение происходит хрупко при незначительных деформациях и обычно из-за среза стекловолоком — по плоскостям действия максимальных касательных напряжений.

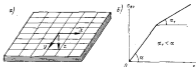


Рис. 1. Планшет из стеклопластика и диаграмма растяжения: а — ось симметрии пластин; б — диаграмма растяжения

Для судостроительных стеклопластиков большое значение имеют механические свойства при изгибе, так как конструкции претерпевают в основном гибкие деформации.

Напряженное состояние материала при изгибе по сечению неоднородно. Учитывая, что свойства стеклопластика зависят от характера напряжений (растяжение или сжатие), использовать для расчетов обычные формулы сопротивления материалов нельзя: при определенных размерах и форме образца на величину стрелы прогиба оказывают существенное влияние касательные напряжения, а при очень малой гибкой жесткости материал трудно разрушить ввиду большой податливости образца. Поэтому результаты испытаний стеклопластика на изгиб рассматривают как изотропные, качественные.

В судостроении в качестве исходного значения принимают меньшую из величин прочностных характеристик, получаемых при растяжении или сжатии стеклопластика.

Метод испытания стандартных образцов на изгиб основан на определении величины кратковременной разрушающей нагрузки (обычно сосредоточенная сила в середине пролета) при изгибе образца, свободно-опертого по концам.

Нормальные напряжения определяют по выражению

$$\sigma_{но} = \frac{M}{W}.$$

Эксперименты показывают, что величина предела прочности не резко уменьшается при растяжении или сжатии. Для многих стеклопластиков эта величина выше предела прочности при сжатии и ниже предела прочности при растяжении.

Скользящее разрушение образцов, как правило, наступает от разрыва растянутых волокон, хотя обычно в сжатой зоне также можно видеть признаки разрушения и в виде складок слоев стеклопластика. Это разрушение (потеря устойчивости волокон) вызывает смещение нейтральной оси в сторону растянутого волокна:

$$\int_0^{t_1} \sigma_{10} dy = \int_0^{t_2} \sigma_{20} dy + \int_{t_2}^{t_1} \sigma_{20} dy, \quad (1.2)$$

где t_1 и t_2 — t_0 — толщина образца;

t_1 — зона, в которой произошла потеря устойчивости;

t_2 — расстояние нейтральной оси (новой) до зоны;

t_0 — расстояние нейтральной оси до крайнего растянутого волокна;

σ_{10} и σ_{20} — нормальные напряжения в растянутой и сжатой изогнутой зоне на расстоянии y от смещенной нейтральной оси.

Уравнение момента сил, вызываемых поразными напряжениями на различных участках растянутой и сжатой зоны, можно получить из выражения (1.2)

$$M = \int_0^{t_1} \sigma_{10} \frac{y^2}{t_0} dy + \int_0^{t_2} \sigma_{20} \frac{y^2}{t_0} dy + \int_{t_2}^{t_1} \sigma_{20} dy. \quad (1.3)$$

Интегрируя это выражение и проведя некоторые преобразования, получим

$$M = \sigma_{10} \frac{t_1^3}{6} + \frac{\sigma_{20}^2 (3\sigma_{10} + 5\sigma_{20})}{6\sigma_{10} \sigma_{20}} + \sigma_{20}^2 (\sigma_{10} - \sigma_{20}). \quad (1.4)$$

Так как

$$\sigma_{10}^2 (\sigma_{10} - \sigma_{20}) < \sigma_{20}^2 (3\sigma_{10} + 5\sigma_{20}),$$

значение предела прочности материала при изгибе

$$\sigma_{00} = \sigma_{20} \frac{3 + 2 \frac{\sigma_{10}}{\sigma_{20}}}{\left(1 + \frac{\sigma_{10}}{\sigma_{20}}\right)^2}. \quad (1.5)$$

Следует отметить, что в некоторых источниках приводятся значения величин предела прочности при изгибе (при $\sigma_{10} > \sigma_{20}$), превышающих пределы прочности при растяжении. Такое явление объясняется тем, что при растяжении стержня равномерно по всему сечению можно ожидать в нем более значительного влияния различных дефектов, чем в случае изгиба, когда прочность образца характе-

руется прочностью его крайнего волокна. Оценку несущей способности образца при изгибе производят по величине усилия, при котором образец разрушается полностью, а не по усилию в начале его разрушения, хотя последнее характеризует предел прочности материала при изгибе.

Потери устойчивости волокон в сжатой зоне не исчерпывает несущей способности материала, однако при нагружении его в противоположном направлении величина предельной нагрузки уменьшится. Это обязательно следует учитывать.

Соприкосновение стеклопластика действительно касательных напряжений из-за ортотропности материала зависит от направления внешних сдвигающих усилий по отношению к плоскости изурной симметрии (см. рис. 1, а). Сдвиг в плоскости x_1 называют междувольным, а сдвиг в плоскостях y_2 и x_2 называют сдвигом в плоскости листа.

Сопротивление при междувольном сдвиге характеризует прочность связующего и степень адгезии его к стекловолокну. Поэтому полученные результаты, главным образом, используются для сравнительных оценок различных стекловолоконителей и связующих. Диаграмма деформирования при сдвиге в плоскости листа (так же, как диаграмма растяжения) приблизительно может быть показана ломаными линиями.

Сдвиговые характеристики зависят от ориентации внешних усилий по отношению к оси изурной симметрии и увеличиваются при любом отклонении от главных направлений анизотропии стеклопластика (основы и углы). Максимальных значений они достигают при действии усилий под углом 45° к основе.

Стеклопластик практически является хрупким материалом. Поэтому они весьма чувствительны к действию внезапных нагрузок. Предел устойчивости у них составляет около 0,15—0,30 от величин временного сопротивления. Стеклопластиком не имеют вид выраженного предела устойчивости; величина его является условной, определенной на базе заданного числа циклов, как это делается для цветных металлов.

Существенное влияние на механические характеристики стеклопластика оказывают температура и влажность окружающей среды. Чувствительность к температуре обуславливается органическим происхождением связующего. Степень снижения свойств стеклопластика зависит от типа применяемой смолы и характера нагрузок. Повышение температуры в большей мере сказывается на характеристике при сжатии и длительном нагружении, чем при статическом растяжении. Снижение механических характеристик при действии влаги объясняется воблагодаря влиянием ее на адгезию связующего к стекловолокну, а также на прочностные и упругие свойства стекловолоконителя, обработка которого соответствующим гидрофобно-адгезионными покрытиями позволяет значительно уменьшить отрицательное влияние влаги.

Существенной особенностью стеклопластиков является их чувствительность к продолжительности деформации нагрузки.

Все перечисленные свойства стеклопластиков определяют с помощью соответствующих испытаний. Для сопоставления свойств необходимо знать следующие сведения:

характеристику материала, тип стеклонаполнителя и связующего, их процентное содержание, режимы формирования и т. п.;

формы и размеры образцов, способ приготовления, способ закрепления и т. п.;

характеристики испытательных машин и измерительной аппаратуры;

температуру и влажность в помещении, где проводится испытание; способ приложения нагрузки, скорость деформирования и т. п.; способ обработки результатов испытаний.

Следует отметить, что стандарты по испытаниям стеклопластиков еще не совсем совершенны.

§ 4. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ НАГРУЖЕНИИ

Ползучесть, определяемая как совокупность явлений изменения во времени деформаций и напряжений детали, свойственна в той или иной мере всем конструкционным и строительным материалам. В реальных телах изменения напряжений и изменения деформаций происходят одновременно, однако при описании этих явлений часто выделяют то явление, которое преобладает.

В соответствии с этим различают собственно ползучесть и релаксацию напряжений.

Собственно ползучесть — накопление деформации во времени при неизменном напряженном состоянии. Простейшим примером может служить деформация однородного стержня, растягиваемого силой, меняющейся таким образом, чтобы напряжения оставались постоянными во времени (опыты Э. Н. де Ч. Лэдрака).

Релаксация напряжений — изменение напряженного состояния во времени при постоянной деформации. Примером может служить растянутый стержень с закрепленными концами.

Систематические исследования ползучести начались около 50 лет назад и проводились первоначально на металлах в связи с бурным развитием энергетического машиностроения применительно к нуждам котла- и турбостроения.

Поэтому наиболее исследована ползучесть разных металлов и стали, хотя ее реологические свойства становятся заметными лишь при высоких температурах. Для стеклопластиков при нормальных температурах ползучесть проявляется в заметной мере даже при незначительных нагрузках.

Деформации ползучести могут оказаться сравнимыми с упругими и даже превышать их, как это видно из экспериментальных исследований стеклопластиков на основе полиэфирных и эпоксидных связующих [39], [52], [62].

Многие судовые конструкции подвержены действию длительных восточных или переменных во времени нагрузок, причем продолжительность действия нагрузки и в некоторых случаях может составлять десятки и даже сотни тысяч часов. Величины накопленных деформаций могут оказаться не только сравнимыми с упругими, но и в несколько раз могут превышать упругие деформации, а через определенное время — достигнуть недопустимых для конструкции величин, в особенности для таких видов деформирования, как различная сдвиги. Вызванное ползучестью перераспределение напряженно-деформированного состояния может привести к уменьшению действующих напряжений в одних точках конструкции и к увеличению — в других.

Особое значение при расчете конструкции должно быть уделено обеспечению длительной устойчивости. Длительные критические нагрузки могут оказаться значительно ниже мгновенных, а при определенных условиях в пределе они стремятся к нулю. Тогда речь может идти не об определении критической нагрузки, а о нахождении критического времени для заданной нагрузки.

Не менее важное значение при проектировании должно уделяться вопросу обеспечения длительной прочности стеклопластика. Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные, полученные при испытании стеклопластика в течение 30—100 тыс. час, показали уменьшение длительной прочности примерно вдвое и при этом абсолютный предел длительной прочности ни одним из испытателей не был достигнут.

Ниже показаны основные особенности ползучести стеклопластиков и наиболее эффективные способы учета ее в проектировании и расчете несущих конструкций.

Изложенное в настоящем параграфе относится прежде всего к стеклопластикам, армированным тканями или направленными волокнами, так как именно они используются большей частью для наиболее ответственных напряженных конструкций, для которых имеет смысл учитывать ползучесть.

Экспериментальные исследования ползучести позволяют установить связь между элементами кривой деформаций и напряжений во времени

$$F(\varepsilon, \sigma, \sigma', \dot{\sigma}, t) = 0, \quad (1.6)$$

где ε — деформации ползучести (в некоторых исследованиях — суммарные);

σ — действующие напряжения;

σ' и $\dot{\sigma}$ — соответственно скорости изменения деформаций и напряжений;

t — время.

Зависимости (1.6) справедливы лишь при определенных условиях внешней среды и не отражают характера технологии изготовления материала.

Наибольшее развитие получили теории, рассматривающие ползучесть как функцию некоторых перечисленных в (1.6) параметров.

Теория течения [36], [52], описывающая ползучесть в виде

$$F\left(\frac{d\epsilon}{dt}, \alpha, \frac{d\sigma}{dt}, t\right) = 0, \quad (1.7)$$

обобщает известное уравнение Максвелла

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \beta\sigma + \frac{\sigma}{\eta} \cdot \frac{d\sigma}{dt}. \quad (1.8)$$

Разрабатываемая в общем виде М. Рейнером теория течения описывает поведение моделей, состоящих из различных комбинаций идеальной упругости (например, пружины) и идеально вязкой (заполненной маслом цилиндр с поршнем, имеющим отверстие) элементов. Примерами простейших моделей являются последовательно или параллельно соединенные упругий и вязкий элементы (соответственно модель Максвелла или Фойгта). Свойства реальных тел мало зависят от свойств этих элементарных моделей, что побуждало к разработке более сложных моделей. Для достижения удовлетворительного согласия с реальными телами приходится строить достаточно сложные модели; поэтому использование их в практических расчетах неудобно.

Исследования А. Л. Рубиновича показывают, что деформации изотропных сетчатых полимеров с высокой степенью точности описываются обобщенными уравнениями Максвелла—Гуренча [52]. Несколько хуже, но все же с достаточной для практики точностью, теория течения может описывать также ползучесть ориентированных стеклопластиков, как это подтверждается в монографиях [52] и [13].

Теория старения устанавливает эмпирические зависимости

$$\left. \begin{aligned} & \text{или} \\ & F(\psi, \alpha, \theta) = 0 \\ & F\left(\frac{d\psi}{dt}, \alpha, t\right) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.9)$$

и в ряде задач простого напряженного состояния приводит к выражениям, предложенным в общем виде Давенпортом:

$$\epsilon = \varphi(\sigma) \psi(t).$$

Для многих материалов при постоянных нагрузках хорошо подтверждается опытные данные выражение

$$\epsilon = B(f) \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n,$$

где $B(f)$, n — константы материала при постоянной температуре.

Для ориентированных стеклопластиков при постоянных нагрузках удовлетворительно согласуется с экспериментом зависимость

$$\epsilon = f(\sigma) t^m.$$

Различные экспериментальные исследования единичной ползучести тканых и ориентированных стеклопластиков показывают

удовлетворительное совпадение предложенной Фанди зависимости

$$\epsilon = \epsilon_0 \operatorname{sh} \frac{\sigma}{\sigma_0} + m \epsilon^0 \operatorname{sh} \frac{\sigma}{\sigma_0}, \quad (1.10)$$

где ϵ_0 , σ_0 , σ_0 , m , ϵ^0 — константы материала.

Так как теория старения удовлетворительно согласуется с опытными данными при постоянных или близких к ним нагрузках, то различные варианты их можно широко применять для описания ползучести стеклопластиков.

В предложенной для меди Давенпортом и Ниди и теории упрочнения исходят из существования связи между напряжением, деформацией и скоростью деформации и, в частности, полагают

$$\varphi(\epsilon) = f(\sigma) \frac{d\epsilon}{dt}, \quad (1.11)$$

где $f(\sigma)$ и $\varphi(\epsilon)$ — монотонно возрастающие, строго положительные функции.

Часто принимают

$$\varphi(\epsilon) = \epsilon^n; \quad (1.12)$$

$$f(\sigma) = k \exp\left[\frac{\sigma}{\sigma_0}\right], \quad (1.13)$$

где α , k , σ_0 — характеристики материала при данной температуре.

Предложенная Ю. Н. Работновым [52] зависимость (1.13), хорошо согласуется с экспериментальными данными для ряда металлов и несколько хуже для полимеров при постоянных или медленно меняющихся во времени нагрузках.

При высоких напряжениях, а также при достаточно больших скоростях изменения напряжений теория упрочнения не соответствует результатам эксперимента, что наряду с некоторыми другими факторами (например, по теории упрочнения нельзя описать об-

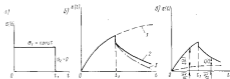


Рис. 2. Ползучесть стеклопластика при изотерии: 1 — зависимость нагрузки от времени; 2 — зависимость деформаций от времени; 3 — разность составляющих по методу Г. Н. Работнова.

1 — теория упрочнения (для лабораторных составляющих); 2 — экспериментальные данные; 3 — теория ползучести (для обратных составляющих).

рابطую ползуность при снятии нагрузки; она очень плохо согласуется с опытными данными при уменьшающемся напряжении) делает рамки приложения ее весьма узкими.

Иногда используют сочетание различных теорий (рис. 2).

Теория наследственности

Принципиально отличной от предыдущих является теория наследственности, учитывающая всю предыдущую историю нагружения и деформации материала, что делает ее более общей и универсальной. Теория наследственности исходит из уравнений теории упругого наследствия Больцмана — Вольтерра [15] и в предположении Ю. Н. Работнова форма линейной парадокса ее имеет вид

$$E\sigma = \sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau)\sigma(\tau) d\tau, \quad (1.14)$$

Или, решая (1.14) относительно σ , получим

$$\frac{\sigma}{E} = \varepsilon + \int_0^t \Gamma(t-\tau)\varepsilon(\tau) d\tau, \quad (1.15)$$

Некая предел интегрирования можно положить равным нулю, если принять за начало отсчета времени момент первого нагружения материала.

В (1.15) $\Gamma(t-\tau)$ — резольвента ядра $K(t-\tau)$, а в (1.14) $K(t-\tau)$ — ядро интегрального уравнения, представляющее собой функцию наследствия, т. е. влияние единичного напряжения за единицу времени в момент τ на полную деформацию в настоящий, более поздний, чем τ , момент времени t . Очевидно, что $t \geq \tau > 0$, а само ядро K является убывающей функцией времени, что означает ослабление со временем «памяти» материала о предшествующих нагружениях.

Аналитическое выражение ядра определяется на основании экспериментальных данных.

Наиболее простыми результатами получаются, если представить ядро в виде конечного числа экспоненциальных функций. В этом случае как само ядро, так и резольвента его выражаются в одном и том же классе экспоненциальных функций. Однако, как отмечает Ю. Н. Работнов, такая аппроксимация ядра обычно плохо согласуется с опытными данными для полимерных материалов, поэтому требует введения спектра ползуности и релаксации, что делает весьма громоздким решение даже несложных задач.

Более удачным для описания экспериментальных данных ползуности различных материалов является ядро Больцмана

$$K(t-\tau) = \frac{C}{t-\tau},$$

имеющее сильную особенность при $t \rightarrow \tau$, что приводит не только к бесконечной скорости деформации в момент приложения нагрузки, но и к бесконечно большой деформации.

Этот недостаток устраняется при использовании ядра типа Абеля

$$J_\alpha = \frac{C}{(t-\tau)^\alpha},$$

где $0 < \alpha < 1$, имеющее при $t \rightarrow \tau$ слабую особенность.

Ядра типа Абеля хорошо описывают ползуность многих материалов и, в том числе, полимеров. Поэтому, в ряде исследований [39] она успешно используется для описания сдвиговой ползуности стеклопластиков.

Однако для всех видов деформирования стеклопластиков, непосредственно связанных с обстрелом нагрузки армированной при малых углах к оси направления армирования и действующими усилиями, в конце концов происходит затухание скорости деформации, которое не предсказывается уравнениями линейной наследственности с ядром типа Абеля.

Более удобным для решения разнообразных задач ползуности является использование сингулярных ядер в виде Э-функций Ю. Н. Работнова [52], являющихся резольвентой интегрального уравнения Вольтерра (1.14) с обобщенным ядром типа Абеля,

$$E_\alpha(\beta, t-\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\beta^n (t-\tau)^{\alpha-1+n}}{\Gamma(\alpha+n) \Gamma(\alpha+1-n)}, \quad (1.16)$$

где Γ — гамма-функция.

Степенной ряд (1.16) сходится абсолютно и равномерно для $t > 0$ при любом конечном значении β и при $-1 < \alpha < \infty$. Первым членом ряда (1.16) при $\alpha = 0$ является ядро типа Абеля, а резольвентой ядра снова является Э-функция Работнова. Сама Э-функция и интеграл от нее протабулированы на ЭВМ «Минск» во всем диапазоне отрицательных значений параметров α (от $-0,90$ до $-0,10$) и β (от -1 до 0), представляющих значительный интерес. Использование Э-функций Работнова приводит к достаточно простым и стройным решениям задач ползуности.

Хорошо согласуется с опытными данными ядро А. Р. Ржаницына

$$K(t-\tau) = C(t-\tau)^{-\alpha} \exp[-\beta(t-\tau)]. \quad (1.17)$$

Однако трудности, связанные с отысканием резольвенты ядра А. Р. Ржаницына, сильно ограничивают возможности его использования.

Уравнение (1.14) является линейным по отношению к ε , что позволяет использовать хорошо разработанную теорию линейных интегральных уравнений типа Вольтерра.

Сама функция ε может быть получена опытным путем как кривая «мгновенной» деформации.

Для тангенсных стеклопластиков применение линейной теории наследственности хорошо подтверждается опытами на растяжении-сжатии вдоль армирования при напряжениях до 0,6 от соответствующей

цего предела прочности, а для ориентированных стеклопластиков, по данным П. М. Особалоа, — до 0,8, что объясняется наличием стеклоарматуры, свойства которой довольно близки к идеальному уругу.

Для нагрузок, действующих под углом к направлению армирования, также как и при других видах сдвиговых деформаций стеклопластика, граница приращения линейных связей проходит значительно ниже и составляет (0,3+0,4) σ_0 , что объясняется наличием полимерного связующего, которое в значительной мере воспринимает эти нагрузки. Для частых полимеров по данным А. Л. Рабиновича и Г. А. Ван Фо Фы [13] эта граница находится на уровне (0,2+0,4) от соответствующего предела прочности.

Существующие в расчетной практике судостроения нормы допускаемых напряжений [62] предусматривают также запасы прочности, что уровень действующих напряжений не превышает (0,2+0,3) σ_0 ; это делает вполне оправданным приращение линейного варианта теории наследственной упругости.

Теория наследственности позволяет описывать ползучесть при переменных напряжениях, в том числе и явления возврата. Она дает хорошие совпадения с опытами, однако в ряде частных случаев более точные результаты может дать какая-либо из существующих теорий, например теория старения при постоянных напряжениях,

Операторный (символический) метод теории наследственности

Используемое в наследственной упругости уравнение связи деформаций и напряжений во времени вида (1.14) представляет собой интегральное уравнение Вольтерра второго рода, которое формально можно записать

$$E \epsilon(t) = \sigma(t) + K^* \sigma(t), \quad (1.18)$$

где K^* — интегральный оператор с ядром $K(t-\tau)$, действующий на функцию $\sigma(t)$.

Таким образом, для линейного напряженного состояния уравнение связи деформаций и напряжений принимает вид

$$E \epsilon = \sigma (1 + K^*). \quad (1.19)$$

Если обозначить $\frac{1}{E} = \frac{1}{E} (1 + K^*)$, то закон наследственной упругости

$$\sigma = \bar{E} \epsilon \quad \text{или} \quad \epsilon = \frac{1}{\bar{E}} \sigma \quad (1.20)$$

по форме записи ничем не отличается от обычного закона Гука, только место упругой постоянной E занимает оператор \bar{E} .

Аналогично закон наследственной упругости для трехмерного анизотропного тела имеет вид обобщенного закона Гука для анизотропного тела, в котором все упругие постоянные (модуль упругости и коэффициенты Пуассона) заменены операторами

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\bar{E}_{ij}} &= \frac{1}{E_{ij}} (1 + K_{ij}^*), \\ \bar{\nu}_{ij} &= \nu_{ij} (1 + L_{ij}^*). \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

Решение статических задач с использованием линейного закона наследственной упругости приводит к интегро-дифференциальным уравнениям, в которых операции дифференцирования по координатам ничем не отличаются от дифференциальных уравнений соответствующей упругой задачи, а операции интегрирования по времени появляются только, где есть упругие постоянные.

Вследствие перестановки этих операций Вольтерра сформулировал принцип решения интегро-дифференциальных уравнений наследственной упругости — принцип упругого последствие, согласно которому все результаты, не зависящие от упругих констант, сохраняют силу и в случае последствие.

При решении задач наследственной упругости в соответствии с принципом Вольтерра могут использоваться результаты решения соответствующей упругой задачи, в которой все упругие постоянные заменены интегральными операторами. Дальнейшее решение сводится к расшифровке полученной функции оператора. Так, например, для свободной опорной балки, нагруженной сосредоточенной силой P в середине пролета, в упругой постановке максимальный прогиб с учетом сдвига

$$V = \frac{P l^3}{48 E I} + \frac{P l}{4 G F}. \quad (1.22)$$

Прогиб этой же балки с учетом наследственной ползучести

$$V(t) = \frac{P \cdot \bar{E}}{48 \bar{E} I} + \frac{P l}{4 \bar{G} F},$$

где вместо E и G записаны операторы \bar{E} и \bar{G} , определяемые из (1.19).

Считая, что сила P неизменна во времени и полагая в выражении для \bar{E} ядром оператора K^* Э функцию Работнова, а в выражении для \bar{G} ядром оператора K^* ядро типа Абеля, получим выражение прогиба балки во времени

$$V(t) = V_0 [1 + \mathcal{Z}_0^*(\beta, t - \tau) \cdot 1] + V_1 [1 + \mathcal{C}_1^*(t - \tau) \cdot 1], \quad (1.23)$$

где $V_0 = \frac{P l^3}{48 E I}$ — прогиб балки от изгиба;

$V_1 = \frac{P l}{4 G F}$ — прогиб балки от сдвига.

Для рассмотренного простейшего примера при постоянной нагрузке функцией оператора является сам оператор $\mathcal{Z}_0^*(\beta, t - \tau) \cdot 1$. Значения $\mathcal{Z}_0^*(\beta)$ проинтегрированы [53], и определить прогиб в лю-

бой момент времени весьма просто, если известны константы полу-
 чести α , β , λ , C .

Операторный метод решения задач наследственной упругости
 отличается лишь формой записи от непосредственного применения
 преобразования Лапласа [26].

Если в уравнении наследственной упругости применить преоб-
 разование Лапласа, то в пространстве изображений они будут иметь
 тот же вид, что и уравнения теории упругости, т. е. если известно
 решение задачи теории упругости, то решение этой же задачи на-
 следственной упругости состоит в обращении изображения, чему
 соответствует расщиповка операторных функций и операторным
 (символическом) методе. Форма записи в операторном методе проще
 и удобнее для преобразований, однако в некоторых задачах удобнее
 воспользоваться непосредственным преобразованием Лапласа.

Результат вида (1.25) получается в тех случаях, когда упругое
 решение можно представить в виде конечной суммы производной
 упругой составляющей на остальные величины, от времени не завися-
 щие.

Для расщиповки более сложных функций операторов исполь-
 зуются теоремы алгебры \mathcal{Z}_0 -операторов, разработанные М. И. Ро-
 зовским, Ю. Н. Работновым [58], [52] и др.

Ниже приведены важнейшие свойства функций \mathcal{Z}_0 -операторов,
 являющиеся частным случаем общих теорем резольвентных опе-
 раторов:

1. По определению, ядром \mathcal{Z}_0 -оператора являются резольвента
 ядра Белли J_0 , что выражается

$$\frac{1}{1 - J_0^*} = 1 + \beta \mathcal{Z}_0(\beta). \quad (1.24)$$

2. Из решения интегрального уравнения Вольтерра второго рода
 с ядром $\mathcal{Z}_0(\beta)$ следует свойство сингулярности \mathcal{Z} -функций

$$\frac{1}{1 - \lambda \mathcal{Z}_0(\beta)} = 1 + \lambda \mathcal{Z}_0(\lambda + \beta). \quad (1.25)$$

3. По теореме умножения \mathcal{Z}^* -операторов

$$\mathcal{Z}_0(x) \mathcal{Z}_0(y) = \frac{\mathcal{Z}_0(x) - \mathcal{Z}_0(y)}{x - y}, \quad (1.26)$$

при этом $x \neq y$
 для J^* -операторов

$$J_0^* J_0^* = J_0^* J_0^* + 1. \quad (1.27)$$

4. Степени оператора определяются

$$[\mathcal{Z}_0(x)]^n = \frac{1}{(n-1)!} \cdot \frac{\partial^{n-1} \mathcal{Z}_0(x)}{\partial x^{n-1}}, \quad (1.28)$$

$$[J_0^*]^n = J_0^* \circ \dots \circ J_0^*. \quad (1.29)$$

5. Расщиповка линейного ядра \mathcal{Z}^* -операторов одного и того же
 параметра α может выполняться с помощью равенства

$$\frac{1}{1 - \sum_{k=1}^n \lambda_k \mathcal{Z}_0^*(\beta_k)} = 1 + \sum_{k=1}^n A_k \mathcal{Z}_0^*(r_k), \quad (1.30)$$

где известные аргументы r_k являются вещественными разными кор-
 нями уравнения

$$1 + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda_k}{\beta_k - r} = 0, \quad (1.31)$$

а коэффициенты A_k находят затем из решения системы линейных
 уравнений

$$1 + \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{\beta_k - r_k} = 0 \quad (1.32)$$

6. В ряде случаев многие авторы используют разложение
 в бесконечные ряды для расщиповки операторных функций.
 Так, для расщиповки иррациональной функции вида $\sqrt{1 + \lambda \mathcal{Z}_0(\beta)}$
 используется биномиальный ряд. Однако конечный результат
 получен только для $\sqrt{1 + \lambda \mathcal{Z}_0(\beta)} - 1$ с использованием асимпто-
 тических представлений, т. е. только для достаточно большого
 времени.

Эти теоремы алгебры \mathcal{Z}_0 -операторов делают возможной расщиповку
 некоторых рациональных и отдельных частных иррацио-
 нальных функций \mathcal{Z}_0 -оператора, что позволяет решать отдельные
 простые задачи строительной механики в рамках линейной наслед-
 ственности. Большинство решений упругих задач строительной
 механики содержит сложные рациональные, а также иррациональные
 функции упругих постоянных.

При переходе к вязко-упругим задачам расщиповка таких функ-
 ций с помощью аппарата алгебры резольвентных операторов может
 оказаться чрезвычайно затруднительной. Поэтому, наряду с даль-
 ншим развитием алгебры резольвентных операторов, получили при-
 менение приближенные методы обращения преобразования Лапласа
 и расщиповки операторных зависимостей.

Одним из наиболее общих способов приближенного обращения
 преобразования Лапласа является основанная на факторизации
 свойства дельта-функции Дирака общая формула обращения Вад-
 лера

$$f(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[\frac{(1-t)^n e^{nt}}{n!} \cdot \frac{d^n f(t)}{dt^n} \right], \quad (1.33)$$

где $\rho = \frac{n}{t}$.

Функция $f(t)$ называется оригиналом, $F(p)$ — изображением функции $f(t)$, p — параметром преобразования Лапласа. Предельный переход означает увеличение точности с возрастанием n . Для практического использования ее следует записать

$$f(t) \approx \frac{(t-1)^n e^{t-1}}{n!} \cdot \frac{d^n F(s)}{ds^n} \quad (1.34)$$

При $n = 1$ она называется формулой обращения Алфрей. Формула Видлера может успешно применяться для обращения функций, заданных аналитически или дискретно. Величина n выбирается в зависимости от поведения $f(t)$. Для монотонных, медленно меняющихся функций, например типа экспоненты, достаточную точность может дать формула Алфрей.

Для дискретно заданных функций, поведение которых не ясно, формула Видлера может дать недопустимые ошибки. В таких случаях более удачным оказываются методы приближенного обращения с помощью полиномов Лежандра, заключающиеся в разложении искомого оригинала $f(t)$ в ряд по полиномам Лежандра. Методы эти достаточно громоздки и получение требуемой точности связано с длительными вычислениями.

В ряде случаев оказываются достаточно точными методы Тер-Хаара и Шенера, имеющие одинаковый вид

$$f(t) = pF(p)$$

и отличающиеся один от другого значением параметра преобразования Лапласа $p = \frac{1}{t}$ в методе Тер-Хаара и $p = \frac{1}{2t}$ — в методе Шенера.

Другим направлением развития приближенных методов решения задач наследственной упругости является расшифровка операторных функций путем разложения их в ряды, подобно приведенным выше примерам расшифровки иррациональной и показательной функций.

Большими возможностями для практического использования при решении прикладных задач обладает метод аппроксимации упругого решения простыми рациональными функциями операторов, позволяющий применять для расшифровки аппарат алгебры резольвентных операторов. В качестве аппроксимирующих функций может быть использовано первое приближение решения упругой задачи методом Рунга, как это сделано в [27] для задачи козоба ортогональных пластин с учетом сдвиговой ползучести. Во многих задачах строительной механики удается достичь удовлетворительной точности путем аппроксимации рядком по степеням упругих постоянных при оставлении в ряду трех членов разложения.

Пусть $F_1(x_0, q)$ — любая из интересующих нас зависимостей, полученная для упругой системы; x_0 — геометрическая, упругие и силовые характеристики системы, не зависящие от времени; q — упругий постоянная, которая заменяется упругим оператором q

при переходе к наследственной задаче. Часто можно представить

$$F_1(x_0, q) = \sum_{i=0}^n a_i q^i \quad (1.35)$$

или, ограничившись тремя членами ряда,

$$F_1(x_0, q) = a_0 + a_1 q + a_2 q^2.$$

Переход к задаче наследственной упругости, в соответствии с принципом Вольтерры можем записать

$$F_1(x_0, \bar{q}) = \sum_{i=0}^n a_i \bar{q}^i, \quad (1.36)$$

где

$$\bar{q} \approx q [1 + \Delta \mathcal{L}_0(\beta)]$$

или

$$\bar{q} = q (1 + C \mathcal{L}_0)$$

в зависимости от характера ползучести (знак \sim означает оператор \bar{q}).

Определение коэффициентов разложения ряда (1.35) может быть выполнено различными приближенными способами. Так А. А. Килченский в задачах вязко-упругости осесимметричной цилиндрической оболочки, нагруженной сосредоточенной по окружности нагрузкой, определяет их как коэффициенты разложения $F(x_0, q)$ в ряд Тейлора и приводит приближенные оценки погрешности, возникающих при оставлении в ряду Тейлора малого числа членов. Однако даже для некоторых простых задач аналитическое разложение в ряды дает достаточно громоздкие выражения для коэффициентов a_i . Представляется более удобным определить их численными методами с использованием ЭЦВМ.

Метод аппроксимации упругого решения применительно к задачам термо-вязко-упругости разработан в монографии А. А. Ильинкина.

Получить судостроительных стеклопластиков и выбор видов операторов вязко-упругости

Конструктивная неоднородность стеклопластика, обусловленная совместная деформированием двух различных по своим свойствам компонентов — стеклоарматур и полимерного связующего, вызывает некоторые особенности в поведении стеклопластика, которые отличают его от традиционных металлических материалов. Известно, что деформация стекла довольно хорошо описывается законом Гука почти до разрушения, а модуль нормальной упругости стеклянных волокон, армированных в стеклопластике, сравнительно высок и для разных марок стекла составляет величину, близкую к 10^6 кг/см^2 . Носителям вязких свойств в стеклопластике является

смола, упругий модуль которой примерно в 20 раз (и более) ниже модуля стекла, а в процессе деформирования величина его уменьшается.

Тканые и ориентированные (СВАМ, КАСТ-В, пакоточные и т. п.) стеклопластики имеют отчетливую слоистую структуру, в которой полимерной связующей воспринимает сдвигающие напряжения, а стеклоарматура, как правило, воспринимает напряжения растяжения-сжатия. Этии объясняется относительно большая, чем у изотропных материалов податливость к сдвигам, которая к тому же сильно возрастает при длительном действии нагрузки.

На рис. 3 показаны структурные модели тканых и ориентированных стеклопластиков. Из этих моделей видно, что поперечные (междуслойные) сдвиги и сдвиги в плоскости армирования воспри-

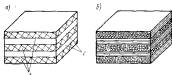


Рис. 3. Структурные модели тканых и ориентированных стеклопластиков: а — тканый; б — ориентированный.
1 — сдвиги межслойные; 2 — сдвиги в плоскости.

нимаются связующим. Поэтому характер сдвиговой ползучести стеклопластика в целом определяется ползучестью полимера, а на характер ползучести стеклопластика в направлении армирования оказывает влияние количество и направленность стеклоарматуры. Как и у чистых полимеров, сдвиговой ползучестью стеклопластиков, как правило, носит неограниченный характер, т. е. деформации ползучести неограниченно возрастают при $t \rightarrow \infty$ при любом $\sigma \neq 0$. Скорость роста сдвиговых деформаций ползучести у стеклопластиков существенно ниже, чем у чистых полимеров.

Ползучесть в направлении армирования носит более сложный характер, чем сдвиговой ползучесть и при достаточных высоких напряжениях приводит к нарушению связей между армирующим элементом и смолой или связей внутри смолы. Затем происходит накопление случайных разрывов или переломов отдельных волокон с последующим перераспределением напряжений, закативающиеся хаотичным бурным ростом числа разрушений, что приводит к общему разрушению материала. Таким образом, конструктивная неоднородность пластика оказывает влияние на характер разрушения, и следовательно, и на величину длительной прочности. На рис. 4

показаны типичные кривые длительной прочности, полученные В. Н. Ривкиндом [56], для тканевого долговечного стеклопластика при растяжении и заправлении армирования.

Начальные участки этих и других кривых длительной прочности удовлетворительно аппроксимируются линейной зависимостью в полулогарифмических координатах $\sigma - \lg t$, но при $t > \sim 1000$ час линейная корреляция не подтверждается экспериментом. Для оценки длительной прочности стеклопластиков с учетом вязкоупругих

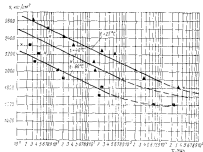


Рис. 4. Кривые длительной прочности тканевого долговечного стеклопластика при разных температурах (стеклопластик, крепление и заправка — точно известны соотношения для температуры 25° С, 40° С и 60° С).

свойств отдельных компонентов в работах А. М. Скуды [61] и его сотрудников разрабатываются критерии длительной прочности. Эти исследования показали, что величина предельной деформации не зависит от длительности нагружения, содержания армирующей и величины приложенной нагрузки. Это позволяет принять ее в качестве условия прочности.

При исследовании ползучести стеклопластиков невозможно не учитывать анизотропию механических свойств, особенно ярко выраженную у ориентированных и тканых стеклопластиков.

Конструктивные стеклопластики, как правило, обладают четко выраженными тремя ортогональными плоскостями симметрии свойств. Для однокричного ортотропного тела уравнения обобщенного

закона Гука с учетом линейной наследственности принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E_1} \sigma_x - \frac{\tilde{\nu}_{12}}{E_2} \sigma_y - \frac{\tilde{\nu}_{13}}{E_3} \sigma_z \\ \epsilon_y &= -\frac{\tilde{\nu}_{21}}{E_1} \sigma_x + \frac{1}{E_2} \sigma_y - \frac{\tilde{\nu}_{23}}{E_3} \sigma_z \\ \epsilon_z &= -\frac{\tilde{\nu}_{31}}{E_1} \sigma_x - \frac{\tilde{\nu}_{32}}{E_2} \sigma_y + \frac{1}{E_3} \sigma_z \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{G_{12}} \sigma_{xy}; \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G_{13}} \sigma_{yz} \\ \gamma_{zx} &= \frac{1}{G_{23}} \sigma_{zx} \end{aligned} \right\} (1.37)$$

и для плоской задачи:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E_1} \sigma_x - \frac{\tilde{\nu}_{12}}{E_2} \sigma_y \\ \epsilon_y &= -\frac{\tilde{\nu}_{21}}{E_1} \sigma_x + \frac{1}{E_2} \sigma_y \\ \gamma_{xy} &= \frac{1}{G_{12}} \sigma_{xy} \end{aligned} \right\} (1.38)$$

где \tilde{E}_i , \tilde{G}_i и $\tilde{\nu}_{ij}$ — операторы вида (1.21), причем остается справедливым соотношение

$$\tilde{E}_i \tilde{\nu}_{ij} = \tilde{E}_j \tilde{\nu}_{ji}.$$

Вид ядра оператора и величина констант ядра определяются по результатам простых опытов на ползучесть при постоянной во времени нагрузке, вызывающей деформацию растяжения, сдвига или сдвига в определенном направлении. На рис. 5 показаны типичные экспериментальные кривые ползучести при межслойной сдвиге ориентированного стеклопластика при нормальной температуре. В двойной логарифмической шкале $\lg t - \lg \epsilon_{\text{полз}}$ эти кривые могут быть аппроксимированы прямой линией, что соответствует использованию оператора Абеля $J_{\alpha, \beta}$ для \tilde{G}_{12} , соответствующего модулю поперечного (межслойного) сдвига

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{1}{G_0} \{1 + C_0(t - \tau)\}. \quad (1.39)$$

Приведенные на рис. 5 экспериментальные данные межслойной ползучести получены на базе 1000 час (около 1,5 лет) и подтверждены отдельными опытами продолжительностью до 12 000 час (около 1,5 лет). Результатов более продолжительных испытаний стек-

лопластиков на межслойную ползучесть к настоящему времени в литературе не встречалось. Поэтому экспериментально приведенных на рис. 5 данных выше 15–20 тыс. час нельзя считать обоснованной. Однако для менее продолжительного срока деформации нагрузки межслойной ползучесть ориентированных стеклопластиков при нормальной температуре может описываться оператором J_{α}^{β} с ядром типа Абеля.

Аналогичный характер ползучести отмечен В. Н. Ринкиндом [56] при испытаниях вязких полиэфирных стеклопластиков на рас-

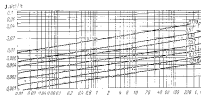


Рис. 5. Кривые межслойной ползучести ориентированного одноосевого стеклопластика на основе эпоксидного связующего при различных напряжениях (σ — различающиеся коэффициенты).

жение под углом 45° к направлению армирования. В этих опытах на базе 5000 час также получены релаксационный характер ползучести, хорошо описываемый степенным ядром типа Абеля. Опыты по межслойной ползучести ориентированных стеклопластиков на эпюрах осевой и опыты по ползучести при растяжении под углом 45° вязких полиэфирных стеклопластиков покажутся:

1. При напряжениях до $\sim (0,2-0,4) \sigma_0$ различные виды сдвиговой ползучести стеклопластиков могут описываться уравнениями линейной наследственной упругости вида (1.16) с ядром типа Абеля.

2. При постоянных во времени напряжениях величиной до $(0,5-0,6) \sigma_0$ сдвиговая ползучесть хорошо описывается предложенным Фоккелс уравнением (1.10) теории старения в котором константы ϵ_0 , σ_0 , τ и σ_{∞} определяются из опыта [приведены в табл. 2 вместе с параметром C , входящим в формулу (1.39)].

При переменных во времени напряжениях зависимость (1.10) не подтверждается опытными данными. В тех случаях, когда в направлении деформации ползучести участвуют упругие стекловолокна, ползучесть имеет затухающий характер и ядром упругости (1.16) удобно применять $\Sigma_{\alpha, \beta}$ функцию Работнова. Параметры α , β и λ опре-

Таблица 2

Материал	Значения констант					
	n	$\epsilon_{0,1,2}$	ϵ_3	$\epsilon_{0,1,2}^*$	c	
Тонкий изаберный стеклопластик при растяжении под углом 45° к направлению [10]	при $t = 25^\circ \text{C}$ \times $t = 45^\circ \text{C}$	0,00073	220	0,00050	103	—
		0,0024	210	—	—	—
		0,0023	125	—	—	0,47
Ориентированный стеклопластик на основе изополиэфирной смолы при издольном сдвиге при $t = 25^\circ \text{C}$						0,47

делаются по кривым ползучести в полулогарифмических ($\lg t - \epsilon_{\text{полз}}$) и в двойных логарифмических ($\lg t - \lg \epsilon_{\text{полз}}$) координатах по методике В. Н. Рывкина или по разработанной программе 1531. Значения их для некоторых стеклопластиков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материал	Параметры			
	β	λ	$\frac{\epsilon^*}{\epsilon} = \frac{1}{1 + \frac{t}{\beta}}$	
Тонкий изаберный стеклопластик АСТТ (Ф-С ₀ О) ПНЗ при растяжении [10]	Азаль обмотка, мм \times утка, мм	0,13	0,0222	0,65
		0,13	0,1009	0,25
		2,3	0,25	0,31
Ориентированный стеклопластик на основе изополиэфирной смолы с ориентацией $E_1 : E_2 = 1$ при сдвиге вдоль армирования, мм				

Входящая в J_{12}^* и $\bar{\epsilon}_0^*$ -операторы параметр α , в отличие от остальных параметров, практически мало зависит от строения материала, вида деформации и в некоторых пределах даже от температуры, что, вероятно, может рассматриваться как некоторое физическое свойство большой группы вязко-упругих материалов. Для полимерных материалов значения α составляют $\alpha \sim (0,80 - 0,85)$, что подтверждается опытными данными (табл. 4).

Предельные деформации ползучести в направлении армирования вообще незначительны. Величина суммарной деформации ползучести

Таблица 4

Значения параметра α в зависимости от материала (по данным разных авторов)

Материал (автор)	Вид деформации	Значение параметра
Тонкий стеклопластик 27-АЭС (Л. В. Вино, И. Г. Занков)	Растяжение под углом $\varphi = 45^\circ$ То же \times \times	0,83—0,84
		0,77—0,82
		0,80
Тонкий изаберный стеклопластик (Б. А. Березин)	Растяжение под углом $\varphi = 45^\circ$ при $t = 25-100^\circ \text{C}$ Изаб	0,81—0,83
		0,79
		0,82—0,84
Стеклопластик ЛГ-4С (И. Г. Брызгалов)	Междольный сдвиг	0,82—0,84
Тонкий полимерный стеклопластик (В. Н. Рывкин)	Растяжение под углом $\varphi = 45^\circ$ при $t = 25-100^\circ \text{C}$	0,81—0,83
Тонкий полимерный стеклопластик (В. Н. Рывкин)	Междольный сдвиг	0,82—0,84
Ориентированные изополиэфирные стеклопластики с различными составами смол и структурами армирования (А. А. Тунов)	Растяжение под углом $\varphi = 45^\circ$	0,81—0,83
		0,80
Полиэфирные стеклопластики различных марок (В. Фидан)	Растяжение	0,81—0,83
		0,80
Кованый привальное кольцо (Г. Дурфин)		0,80

и упругости через 1000 час превышает упругую всего на 5—20% в зависимости от вида материала.

Учитывая рассмотренные выше особенности вязко-упругого поведения стеклопластиков, Г. И. Брызгалов использовал для описания ползучести эластин следующую модель.

Входящие в обобщенный закон Гука для плоской задачи (1.38) операторы μ_{ij} принимаются равными упругим коэффициентам влияния μ_{ij} , т. е. $\mu_{ij}^* = \mu_{ij}$, что объясняется малым влиянием изменений коэффициентов μ на результаты решения. Операторы \bar{E}_i , соответствующие модулям нормальной упругости в направлении армирования, принимаются равными длительным модулям упругости

$$\bar{E}_i = E_i^* = \frac{E_i}{1 + \frac{t}{\beta}} \quad (1.40)$$

Только $\bar{\epsilon}_{12}^*$ сохраняют вид операторов с ядром в виде J_{12} или $\bar{\epsilon}_0$ -функций. В результате закон Гука для плоской задачи линейной наследственной упругости принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{11} &= -\frac{1}{E_1^*} \sigma_{11} - \frac{\mu_{12}}{E_2^*} \sigma_{22} \\ \epsilon_{22} &= -\frac{\mu_{21}}{E_1^*} \sigma_{11} + \frac{1}{E_2^*} \sigma_{22} \end{aligned} \right\} \quad (1.41)$$

$$\gamma_{12} = \frac{1}{G_{12}} \sigma_{12} = \frac{1}{G_{12}} \left[\sigma_{12} + \frac{1}{2} \Delta \epsilon_{12} \Phi(t - \tau) \sigma_{12}(\tau) d\tau \right]$$

Эта модель, иногда с небольшими модификациями, получила широкое распространение не только при расчете пластин и оболочек с учетом сдвиговой ползучести в плоскости армирования, но и для расчета балок, пластин и оболочек с учетом междуплощадной ползучести. Использовали ее целесообразно в тех случаях, когда роль сдвига в упругой задаче достаточно велика. В этом случае допущения в отношении ограниченной ползучести и направления армирования (т. е. $\bar{E} = E^*$), не существенно по сравнению с неограниченной сдвиговой ползучестью.

Для относительно высоких балок при $\frac{l}{a} < \sim 10$ и коротких оболочек при

$$\mu = 0,42 \frac{l}{\sqrt{Rk}} \sqrt{\frac{E^*}{E_1} - \mu_0^2} > \sim 1$$

модель сдвиговой ползучести позволяет получить достаточно точные решения. Используя эту модель и метод аппроксимации упругого решения в виде (1.35) с сохранением трех членов ряда и с численным определением коэффициентов a методом наименьших квадратов по стандартной программе на ЭЦВМ «Минск-22», оказалось удобным представить прогиб и напряжения в осесимметричной цилиндрической ортотропной оболочке, нагруженной равномерными внешним давлением в виде

$$F_1(\chi, \bar{G}_{13}) = F_{1уп} + (a_1 + 2a_2 G) C_0 f_0 + a_2 G^2 f_{20},$$

где $F_1(\chi, \bar{G}_{13})$ — прогиб или напряжение во времени в характерных точках, являющийся функцией оператора \bar{G}_{13} ;

$F_{1уп}$ — то же для упругой задачи;

\bar{G}_{13} — модуль междуплощадного сдвига $q = \frac{E_2}{G_{13}}$;

a_1, a_2 — коэффициенты a , ряда (1.35).

В тех случаях, когда решение упругой задачи линейно или почти линейно зависит от $1/G$, например прогиб балки с учетом сдвига (1.22), решение задачи ползучести может быть получено подстановкой те оператора \bar{G} , а значения модуля во времени $G(t)$, которое для линейной задачи определяется по кривым ползучести. Так, для кривых ползучести, показанных на рис. 6, линейный модуль $G(t)$ выражается зависимостью, представленной на рис. 6 в двойных логарифмических координатах

$$\lg \left[\frac{E}{G(t)} - \frac{E}{G} \right] = -\lg t.$$

Следует иметь в виду, что на рис. 6 представлена разность $\frac{E}{G(t)} - \frac{E}{G}$, а не само отношение $\frac{E}{G(t)}$.

Для ориентированного стеклопластика, свойства которого иллюстрирует рис. 6, $q \approx 15$. Так, например, для свободно опертой балки прямоугольного сечения при $\frac{h}{a} = \frac{1}{6}$ с учетом только сдвиговой ползучести, отношение $\frac{E}{G(t)}$ за 1000 час возрастает на 20, т. е. $q = 35$.

При этом из (1.22) прогиб с учетом только сдвиговой ползучести

$$V(t) = V_0 \left[1 + \frac{h^2}{12} \cdot \frac{E}{G(t)} \right] = V_0 \left(1 + \frac{35}{36} \right) = 2V_0,$$

т. е. возрастает в 1,4 раза по сравнению с упругим $V = V_0 \left(1 + \frac{15}{36} \right)$.

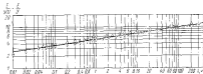


Рис. 6. Кривые изменения междуплощадного сдвига во времени (треугольники, крестки и кружки — точки измерения, соответствующие, для температуры 25°C, 40°C и 60°C).

Для приближенных расчетов часто бывает необходимо узнать величины предельных деформаций, которые могут возникнуть в конструкции при сколь угодно длительном приложении постоянной нагрузки. Более того, в отдельных случаях бывает важнее определить максимально возможные деформации, чем установить закон их изменения во времени.

В рамках линейной теории наследственной упругости решение этой задачи может быть получено как следствие тауберовских теорем Вайера-Полла об асимптотическом поведении упруго-наследственных систем, откуда предельное состояние определяется подстановкой в упругое решение вместо упругих постоянных предельных значений операторов при $t \rightarrow \infty$. Поскольку

$$\left. \begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \partial_t^2 (t - \tau) &= \frac{1}{\beta}; \\ \lim_{t \rightarrow \infty} f_0(t - \tau) &= \infty, \end{aligned} \right\} \quad (1.42)$$

то входящие в обобщенный закон Гука для упруго-наследственного тела (1.37) или (1.38) операторы имеют предельные значения

$$\left. \begin{aligned} E_{\infty}^* &= \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{E}_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{E_0}{1 + \lambda_1 \mathcal{B}_0^*(t)} = \frac{E_0}{1 + \frac{\lambda_1}{R_0}}; \\ \mu_{\infty}^* &= \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\mu}_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \mu_0 \left[1 + \lambda_2 \mathcal{B}_0^*(t) \right] = \mu_0 \left(1 + \frac{\lambda_2 C_0}{R_0} \right); \\ G_{\infty}^* &= \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{G}_t = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{G_0}{1 + \mathcal{C}_0^*} = 0. \end{aligned} \right\} (1.43)$$

Предельный закон позволяет получить значения предельных деформаций или предельных критических нагрузок для некоторых конструкций с известными затратами усилий.

Так, В. С. Екельчик [27] и В. Н. Рейнден получили для изгиба ортотропных пластин, нагруженных равномерно распределенной, постоянной во времени нагрузкой, значения предельных прогибов в центре пластины. Даже с учетом неограниченной сдвиговой ползучести предельный прогиб пластин является конечным. Для квадратной пластины из тканевого полиэфирного стеклопластика, с константами ползучести (см. табл. 2) и отношениями $\frac{E_2}{E_1} = 0,7$; $\frac{E_3}{G_1} = 4$; $\mu_{12} = 0,15$, предельный прогиб в $-1,5$ раза превышает упругий.

Для цилиндрической ортотропной оболочки, нагруженной всесторонним внешним давлением, независимо от способа закрепления торцевых сечений в отношении угла поворота, предельные значения максимального осесимметричного прогиба с учетом неограниченной вязкоупругой ползучести также являются конечными.

Не менее важным представляется учет ползучести в задачах устойчивости, в которых также применим аппарат линейной наследственной упругости. А. Р. Рейнден показал, что при некоторых условиях для вязко-упругих систем существует предел длительной устойчивости, т. е. существует такая критическая нагрузка, называемая длительной, ниже которой система устойчива при любой длительности действия нагрузки. Длительная критическая нагрузка всегда меньше мгновенной, т. е. критической нагрузки упругой системы. Необходимым условием существования длительной критической нагрузки является наличие ограниченной ползучести системы. В противном случае длительная критическая нагрузка может быть равна нулю, что означает абсолютную неустойчивость во времени.

Для таких систем А. Фрейденталь вел в С. А. Шестерников развил понятие критического времени, т. е. времени, при котором деформация (или их первая или вторая производная) достигнут установленных допустимых значений. Таким образом, для каждой нагрузки может быть найдено соответствующее критическое время T_{cr} .

Использованная Г. И. Брызгаловым модель позволила ему определить предел длительной устойчивости пластины из АГ-9С, сжатой в одном направлении. Длительная критическая сила оказалась примерно в 1,5 раза ниже мгновенной.

Ряд задач устойчивости ортотропных пластин и оболочек с учетом поперечных сдвигов решены Г. А. Тетером [64], В. Р. Рикардом [57] и др. в рамках наследственной упругости с использованием экспоненциальных и дробно-экспоненциальных ядер.

Влияние температуры и других факторов внешней среды в технологии изготовления

Все рассматриваемые выше зависимости описывают ползучесть как изотермический процесс, что обычно и имеет место, если сохранится термический баланс внешней среды. Экспериментальные исследования ползучести [39], [52] и др. при различных температурах показывают, что ползучесть всех материалов довольно чувствительно зависит от температуры, и стеклопластики в этом отношении не являются исключением. Для ограниченного диапазона изменения температуры остается справедливыми зависимости линейной теории наследственной упругости, однако входящие в них константы, за исключением μ , оказываются функциями температуры.

Общим для всех типов стеклопластиков является то, что скорость ползучести существенно возрастает с увеличением температуры, что объясняется сильным влиянием температуры на величину и скорость вязкоупругой деформации полимеров-связующих. Это влияние лежит в основе температурно-временных аналогий, позволяющих прогнозировать ползучесть при больших временных промежутках (например, десятки или сотни тысяч часов или более) по данным сравнительно незначительных опытов. Однако исследования температурно-временных аналогий еще не привели к разработке аппарата моделирования ползучести. Величина предела длительной прочности при увеличении температуры заметно падает (см. рис. 4), однако характер зависимости $\sigma - \lg t$ остается без изменения.

Из всех факторов внешней среды температура оказывает наибольшее влияние на ползучесть. О влиянии остальных факторов внешней среды и технологии изготовления является только отрывочные экспериментальные сведения.

Работами В. А. Бригадского, А. А. Гликина и др. установлено, что термехимическая обработка стеклопластика сильно влияет на ползучесть. Так, для стеклопластика холодного отверждения на основе ПН-1 обработка стеклопластик различными аппретурирующими составами в несколько раз увеличивает деформации неустановившейся ползучести.

Влияние условий внешней среды на ползучесть ориентированных стеклопластиков почти не изучено. Известно, что влага, морская вода, различные другие агрессивные среды увеличивают интенсивность явлений последствие, что выражается повышением скорости и величины деформирования. Степень влияния зависит не только от характера агрессивной среды, но и от предварительной обработки стеклопластика.

Для стеклопластиков характерно также и то, что с увеличением уровня действующих напряжений возрастает степень влияния агрессивных сред.

§ 3.
ОСОБЕННОСТИ СТЕКЛОПЛАСТКА
КАК КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Особенности стеклопластиков обуславливают необходимость разработки специальных, новых методов расчета и применения конструирования судового корпуса и его элементов из этих материалов. К этим особенностям необходимо прежде всего отнести: зависимость свойств стеклопластика от марки связующего и типа стеклонаполнителя, а также их количественного соотношения; зависимость свойств от структуры армирования; анизотропию упругих и прочностных свойств при применении определенных стеклонаполнителей; практическое отсутствие пластических деформаций, вплоть до разрушения; зависимость упругих и прочностных свойств от скорости нагружения; низкие величины модулей нормальной упругости и сдвига; склонность к ползучести, возрастающей по мере увеличения температуры; неравнопрочность соединений стеклопластика основному материалу;

зависимость прочностных и других свойств от технологии и условий эксплуатации конструкций.

Следует отметить, что приведенные выше особенности стеклопластика не являются исключительными и призывая лишь подчеркнуть необходимость их учета при проектировании конструкций из этого материала.

Необходимость учета анизотропии стеклопластика зависит не только от типа стеклонаполнителя и структуры армирования, но также и от геометрических параметров элемента (например, для пластин — от соотношения сторон), от степени требуемой точности вычислений и т. п.

Рассмотрим изменение деформаций и напряжений при изгибе пластин из стеклопластика при различной степени анизотропии в соотношении сторон опорного контура. Для жестко заделанной на контуре пластины, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, величина стрелки прогиба определяется из выражения

$$w = K_1 \frac{q^0 l^4}{E_1 b^3} \quad (1.44)$$

где q^0 — интенсивность нагрузки;
 l — толщина пластины;
 E_1 — модуль упругости в направлении основы стеклопластика (вдоль длинной стороны);
 b — короткая сторона опорного контура (a — длинная).
Максимальный изгибающий момент, действующий в середине длинной стороны

$$M_1^0 = K_2 q^0 l^2 \quad (1.45)$$

При изменении соотношения модулей нормальной упругости в направлении длинной стороны (E_1) к короткой (E_2) и сторон пластины a/b коэффициента, входящие в это выражение, имеют значения, показанные в табл. 5.

Таблица 5

Значения коэффициентов K_1 и K_2 в формулах (1.44) и (1.45)

Особенности		Коэффициенты	
сторона пластины a/b	модуль нормальной упругости E_1/E_2	K_1	K_2
1	1	0,0153	0,0640
1	1,5	0,0168	0,0580
3	1	0,0312	0,0838
3	1,5	0,0309	0,0840

При больших соотношениях сторон a/b эти коэффициенты практически не изменяются. Кроме того, напряжения в конструкциях эластичных судов при современных приемах простроения, как правило, значительно меньше допустимых, да и применяемые коэффициенты запаса нельзя считать окончательно установленными.

Таким образом, можно отметить, что в ряде случаев учет анизотропии может привести к неоправданно усложнению расчета.

Отсутствие эластических деформаций у стеклопластика делает этот материал весьма чувствительным к малому концентратору напряжения. Эффективный (действительный) и теоретический коэффициенты концентрации у этого материала по существу равны. Поэтому не приходится выравнивания напряжений, как это имеет место у металлов, и требуется уделять серьезное внимание мероприятиям, исключающим наличие источников концентрации.

Учет скорости нагружения, изменения свойств материала в зависимости от условий изготовления конструкций (формы, размеров, методов и т. п.) и ее эксплуатации производится с помощью соответствующих редукционных коэффициентов, уменьшающих величины прочностных и упругих параметров материала. Значения напряжений и модулей приравниваются соответственно за опасные и расчетные. Кроме того, к стеклопластикам, применяемым в судостроении, предъявляются следующие требования:

1. После пребывания стеклопластика в пресной воде не менее 6 месяцев без нагрузки потеря прочности не должна превышать 20% от нижних пределов прочности (растяжение или сжатие). Обычно соблюдение этого условия достигается кипячением образцов в пресной воде в течение 2 часов.

2. Предел усталости стеклопластиков, найденный по результатам испытаний симметрично нагруженных образцов без задергов на базе 10^7 циклов, должен составлять не менее 25% от таблических пределов прочности материала.

3. Снижение прочности и других свойств стеклопластика при нагревании до 50—60° С не должно превышать соответственно 20—30%.

ГЛАВА 2.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТИПЫ СУДОВЫХ ПЛАСТМАССОВЫХ КОРПУСОВ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИХ ЭЛЕМЕНТОВ



§ 8. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Физико-механические и технологические свойства стеклопластиков, как уже было отмечено в главе 1, обладают по сравнению с металлами специфическими особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании. Правильный подход к выбору конструкции корпуса в целом и отдельных его элементов сводит к минимуму нежелательные последствия, обусловленные недостатками стеклопластиков, и в наибольшей степени позволяет использовать их преимущества.

Одной из особенностей стеклопластиков является анизотропия прочностных и упругих свойств. Соответствующим подбором стекловолокон и схемы армирования конструктор может обеспечить необходимые прочностные и упругие свойства стеклопластика отдельных элементов проектируемой конструкции так, чтобы они наилучшим образом отвечали условиям работы этих элементов в составе конструкции.

Стеклопластик имеет очень малое относительное удлинение ($\epsilon \ll 3\%$). Разрушение его при растяжении носит хрупкий характер. Поэтому стеклопластик обладает повышенной склонностью к разрушению при наличии концентрации напряжений. Эта особенность стеклопластика предъявляет жесткие требования, которые конструктор должен выполнять при проектировании прерывистых связей и оформлении вырезов. Плановое наложение геометрических размеров связей в районе их образца, соответствующая схема армирования и утолщения материала в районе вырезов, некоторые другие конструктивные меры — все это с особой тщательностью должно быть предусмотрено при проектировании напряженных конструкций, чтобы избежать преждевременного их разрушения.

Большим недостатком стеклопластиков является низкое значение модулей упругости, особенно модуля сдвига. Вследствие этого возникает трудность в обеспечении поперечной жесткостью конструкции,

устойчивости и работоспособности при сдвиговых нагрузках. Критерием правильно спроектированной конструкции в ряде случаев может оказаться не уровень поперечных и касательных напряжений, а величина прогиба, вычисленная с учетом составляющей от сдвига, и критические значения напряжений. Для стеклопластиковых корпусов характерны поэтому относительно большие тощины обшивки и палубного настила и размеры профилей балок набора. Большая деформативность стеклопластика, по мнению ряда специалистов, является одной из главных причин, ограничивающих проектирование и постройку судов крупных размеров.

Особенностью стеклопластика как конструкционного материала является неравномерность соединений основному материалу и большая трудность изготовления соединений. Поэтому соединения в конструкции должны быть по возможности меньше и их не следует располагать в районах действия максимальных изгибающих моментов и перерезывающих сил, а также в местах наибольшей вибрации. С этой точки зрения целесообразно, например, обшивку корпусов даже на относительно крупных судах изготавливать монолитным способом. Целесообразно также использовать и принцип гофрирования переборки, палуб и обшивки. Гофры, изготовленные монолитно с обшивкой, позволяют свести к минимуму количество балок набора и существенно сократить объем работ по приформовке. Эти работы составляют значительную долю в трудоемкости изготовления всего корпуса.

Низкая прочность клеевых соединений на огры не допускает выполнения утолщений (книжные пояски, шпрингек, утолщения в районе доковых вырезов и т. п.) в виде пакета, укладываемого на готовую конструкцию. Поэтому утолщения следует выполнять в процессе формирования конструкции посредством укладки дополнительных слоев армирующего материала при последовательном чередовании их с основными слоями.

В условиях длительного статического нагружения стеклопластик обладает склонностью к ползучести. Показатели долговечности, т. е. скорости изменения деформации и ее величины, зависят от уровня напряжений, температуры, длительности и характера приложения нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг), а также от типа стеклопластика. Деформации ползучести при повышенной температуре (около 50° С), особенно при сжатии, могут достигнуть значительной величины. Пользуясь определенными данными (§ 4), конструктор должен оценить совокупному в процессе эксплуатации деформации связей конструкции, которые будут находиться под воздействием длительной статической приложенной нагрузки: он должен спроектировать принятые при проектировании материал, форму и размеры этих связей таким образом, чтобы обеспечить требуемую надежность и долговечность конструкции.

Физико-механические свойства стеклопластиков в элементах конструкции зависят также от способа ее изготовления, от соблюдения условий технологического процесса. Особую роль играет плотность укладки армирующего материала. Поэтому в чертежах конструкции

следует учитывать не только толщину, но и количество слоев армирующего материала, тем более, что это облегчает контроль выполнения необходимого процентного содержания стекловолокна по весу.

Плотность укладки, как показывает практика, в зависимости от условий контактного формирования в различной технологической обстановке может быть принята нормальной, если обеспечивается примерно следующее процентное содержание (по весу) стекловолокна в пластике:

Стеклохолст	20—25%	для наружной обшивки
»	»	»
»	»	»
Жгуты стеклоткани	40—45%	»
»	»	»
»	»	»

Стенки и пояски балок набора (если они изготавливаются в специальной обстановке) должны иметь несколько большую плотность:

Для стеклохолста	30%
» жгутовой стеклоткани	55%
» сатиновой ткани (используется при формовке свободных поперечных балок)	Около 32%

Следует иметь в виду, что прочностные и упругие свойства стеклопластика ухудшаются под воздействием внешней среды в результате увлажнения, действия солнечной радиации, температуры, с течением времени (старение).

Все особенности стеклопластика как конструкционного материала, о которых говорилось выше, должны быть учтены при проектировании, разработке конструкции корпуса и расчете прочих размеров его связей. В последнем случае первоначально важно правильно оценить величину опасных напряжений. Для обеспечения надежности проектируемой из стеклопластика конструкции опасные напряжения нужно принимать как часть временного сопротивления материала (по соответствующим видам деформации), определенного по лабораторным испытаниям для сухих образцов:

для нормальных напряжений

$$\sigma_0 = K\sigma_{\text{ст}} \quad (3.1)$$

для касательных напряжений

$$\tau_0 = K\tau_{\text{ст}} \quad (3.2)$$

где σ_0 , τ_0 — опасные напряжения, кгс/см^2 ;

$\sigma_{\text{ст}}$ — временное сопротивление разрыву (сжатию) для сухих образцов, кгс/см^2 ;

$\tau_{\text{ст}}$ — временное сопротивление сдвигу по рассматриваемому направлению для сухих образцов, кгс/см^2 ;

K — коэффициент, учитывающий снижение прочности стеклопластика в связи с влиянием технологических факторов, старения, увлажнения, температуры и др.

В отечественной практике проектирования конструкций корпусов в зависимости от типа рассматриваемых связей значение коэффициента

K принимается равным от 0,40 (параллельный набор) до 0,50 (обычная динца, продольный набор). В случаях, когда проектируемая связь работает под воздействием непрерывной длительной нагрузки, т. е. когда возможно замещение протекшей полноты материала, значение K принимается равным 0,2 при параллельном армировании и 0,3 — при параллельно-диагональном армировании.

Аналогичным образом быть подход и к выбору опасных нормальных и касательных напряжений, которые могут возникнуть в процессе устойчивости конструкции. За опасные принимают теоретические значения напряжений, вычисленные при значениях модулей упругости, определенных по выражениям:

$$E_p = \mu E, \quad (3.3)$$

$$G_p = \mu G, \quad (3.4)$$

где E , G — модули упругости материала, определенные при лабораторных испытаниях для сухих образцов, кгс/см^2 ;

μ — коэффициент снижения упругих свойств материала.

Для различных связей рекомендуются следующие значения μ :

Для динца набора	0,30
» обшивки бортов	0,38
» обшивки динца, продольного набора динца, вертикального набора	0,45
Для продольного набора набора	0,72

Большое внимание при проектировании необходимо уделить выбору типа стеклопластика. Это нужно делать с учетом ряда факторов, определяемых в конкретном случае конструктивно-технологической, эксплуатационной и экономической целесообразности использования материала.

С точки зрения удобства укладки армирующих слоев (особенно в матрицах сложной формы), снижения трудоемкости и ускорения процесса формовки, а также снижения стоимости конструкции, наиболее выгодным является стеклопластик на основе стеклохолста и жгутовой ткани. Сатиновые стеклоткани, обеспечивая получение стеклопластиков более высокой прочности, заметно усугубляют стеклохолсту и жгутовой стеклоткани по технологичности и стоимости материала. Поэтому сатиновые ткани следует использовать лишь в случаях, когда первостепенную роль играют вопросы прочности. При этом следует отметить, что более тонкая обшивка из стеклоткани хуже работает на устойчивость, чем относительно толстая обшивка на основе стеклохолста.

Опыт показал, что целесообразно применять стеклопластик с комбинационным армирующим компонентом. Правильное композиционное сочетание стеклопластиков различного типа позволяет получать стеклопластик лучшего варианта, удовлетворяющий противоречивым технико-экономическим требованиям, предъявляемым к корпусным конструкциям.

§ 2.
МЕТОДЫ ВЫБОРА ПРОЧНЫХ РАЗМЕРОВ
СВЯЗЕЙ КОРПУСА

Обобщение опыта проектирования, постройки и эксплуатации пластмассовых судов, а также результаты большого числа теоретических и экспериментальных исследований в области применения стеклопластика для судовых корпусов, позволяет более или менее обоснованно выбрать прочные размеры жеских связей.

Как и в стальном судостроении, определение прочных размеров обшивки пластмассовых судов, палубы и балок набора можно осуществлять:

- по правилам классификационных обществ;
- пересчетом с прототипа, имеющего металлический корпус;
- пересчетом аэроупругости с пластмассовым корпусом;
- прямым расчетом.

Большинство сравнительно крупных рыболовных пластмассовых судов за рубежом проектируется в соответствии с «Временными правилами постройки судов из стеклопластика» 1951. Однако в тех случаях, когда армирующие материалы отличаются от рекомендуемых Правилами или имеются существенные изменения в конструктивных решениях, предусмотренных Ллойдом, производится поперечные расчеты обшив и местной прочности.

Результаты выполнения подобных расчетов доказали, что основную роль в определении прочных размеров корпусных элементов рыболовных траулеров играют местные напряжения, так как напряжения от общего изгиба весьма незначительны. Вместе с тем, общий прогиб корпуса достигает величин в 5—8 раз превосходящих прогиб судов с металлическим корпусом (прототипом). Эту особенность, объясняемую недостаточной жесткостью конструкций из стеклопластика в связи с низким значением его модулей упругости E и G , должны учитывать конструкторы, особенно при проектировании опор валопровода, прокладке трубопроводов различных систем и т. п.

В СССР с 1966 г. действуют «Временные требования к постройке судов внутреннего плавания из пластмасс Регистра РСФСР». В них заложены основные требования, предъявляемые к материалам, технологиям и конструкциям корпусов и надстроек судов, а также указания по расчету прочности. В отличие от Правил Английского Ллойда во Временных требованиях Регистра РСФСР отсутствуют таблицы, по которым можно определять размеры прочных связей корпуса судна в зависимости от его размеров, назначения и условий эксплуатации.

Более подробные и конкретные рекомендации по выбору материала корпуса, проектированию и расчету корпусных конструкций содержатся в действующих в СССР руководящих технических материалах, распространяющихся на проектирование корпусов морских свесовальных шлюпок, катеров и судов длиной до 30 м.

Получение правил классификационных обществ свидетельствует о больших успехах теории и практики пластмассового судостроения.

Правила устанавливают определенные принципы конструирования, облегчают процесс разработки корпусных конструкций, безусловно способствуя снижению стеклопластиков в судостроении. Однако в ряде случаев при проектировании отдельных типов судов необходимо использовать другие методы определения прочных размеров связей корпуса и, в частности, метод пересчета с металлического прототипа. В зависимости от характера работы отдельных связей и состава корпуса пересчет можно производить исходя из условий одинаковой прочности, из условий одинаковой поперечной жесткости или на условии одинаковой устойчивости.

В первой стадии проектирования можно пренебречь влиянием деформации и сдвига на изгиб и устойчивости балок и пластины. Тогда формулы пересчета принимают простейший вид и можно быстро получать ориентировочные размеры прочных балок набора и пластин обшивки и палубы проектируемого корпуса.

Соблюдая условия равной прочности связей проектируемого корпуса со связями прототипа при их работе на растяжение (сжатие), будем иметь

$$F_{ca} = F_m \frac{\sigma_{adm, m}}{\sigma_{adm, ca}} \quad (2.5)$$

где F_{ca} — площадь поперечного сечения связи проектируемого корпуса (пластмасса), см²;

F_m — площадь поперечного сечения связей прототипа, см²;

$\sigma_{adm, m}$, $\sigma_{adm, ca}$ — допустимые напряжения для связи металлического прототипа и проектируемого пластмассового корпуса, кг/см².

Зная прочность (соотношение между опасными и допустимыми напряжениями) в связях пластмассового и металлического корпусов должен быть принят по соответствующим нормам.

Для обеспечения одинаковой жесткости при изгибе, из условия равенства прогибов ($w_m = w_{ca}$), моменты инерции поперечных сечений балок из стеклопластика следует увеличивать пропорционально отношению модулей нормальной упругости при изгибе, а толщины пластин — пропорционально кубическому корню из этих отношений:

$$J_{ca} = J_m \frac{E_m}{E_{ca}} \quad (2.6)$$

$$t_{ca} = t_m \sqrt[3]{\frac{E_m}{E_{ca}}} \quad (2.7)$$

Условие одинаковой работоспособности на устойчивости (равенство критических напряжений) будет приблизительно удовлетворено, если толщина пластин из стеклопластика будет увеличена пропорционально корню квадратному из отношения модулей нормальной упругости

$$t_{ca} = t_m \sqrt{\frac{E_m}{E_{ca}}} \quad (2.8)$$

Значение модуля упругости для пластмассы следует брать с коэффициентом уменьшения упругих свойств в результате увлажнения, старения и т. п. ($E_{\text{пл}} = nE_0$, где E_0 — значение модуля упругости для сухого образца).

Условие обеспечения одинаковой жесткости при изгибе и устойчивости требует значительного увеличения моментов инерции и толщин. Так, например, при одинаковых размерах пластин в плане на прототипе и проектируемом судне толщина пластин из стеклопластика на основе стеклохолста по условию одинаковой устойчивости должна быть в 6 раз больше толщин стальных пластин. Поэтому целесообразно в начальной стадии проектирования уменьшать расстояния между балками набора и их расчетные пролеты. С учетом изменений длин балок набора, размеров пластин и расчетных нагрузок формулы пересчета (2.6), (2.7) и (2.8) преобразуются следующим образом:

$$J_{\text{пл}} = J_{\text{ст}} \frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{пл}}} C; \quad (2.9)$$

$$l_{\text{пл}} = l_{\text{ст}} \sqrt[3]{\frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{пл}}} \left(\frac{b_{\text{ст}}}{b_{\text{пл}}} \right)^2}; \quad (2.10)$$

$$t_{\text{пл}} = t_{\text{ст}} \frac{a_{\text{ст}}}{a_{\text{пл}}} \sqrt[3]{\frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{пл}}}}; \quad (2.11)$$

где $J_{\text{пл}}$, $J_{\text{ст}}$ — моменты инерции площади поперечного сечения балок набора соответственно пластмассовых и металлических;
 $t_{\text{пл}}$, $t_{\text{ст}}$ — толщины пластин пластмассовых и металлических;

$c = \frac{q_{\text{пл}}}{q_{\text{ст}}} \cdot \frac{q_{\text{ст}}}{q}$ — коэффициент, учитывающий изменение соответствующих пролетов пересчитываемых балок и нагрузок на них;

a — длина сторон пластины, вдоль которых направлена связывающая нагрузка;

b — ширина пластины.

Для уточнения предварительно установленных методом пересчета прочных размеров связей корпуса следует произвести обстоятельный поперечный расчет прочности с возможным учетом всех особенностей стеклопластика как конструкционного материала.

Метод пересчета широко используют на рубеже при опытно-исследовательских работах в разработках различных конструктивных типов судов, связанных с целью выяснения целесообразности использования стеклопластика для судов длиной 35—50 м. Нужно отметить, что в исследованиях используют упрощенные методы расчета. Пластину рассматривают как балку-полосу. Анизотропию

стеклопластика не принимают во внимание, но учитывают об угле сдвига на прогиб и т. п.

Упрощенные методы расчета могут быть в ряде случаев оправданы. Так, например, при использовании стеклопластика на основе стеклохолста или сочетания стеклохолста с небольшим количеством слоев стеклорогожки (этот материал и вост как основной во всех проектных проработках аэстроновых фирм) можно считать, что влияние анизотропии практически отсутствует. Расчет пластин как балки-полосы дает ошибку в большую сторону. Сдвигами составляющая при прогибе отендато учитывается, так как в исследовании уделяется большое внимание количеству пластмассовой основы прогибов. При упрощенных расчетах эту ошибку легко выдержать по формуле

$$v_2 = \frac{M}{G}, \quad (2.12)$$

где v_2 — стрелка прогиба от сдвига, см;

M — изгибающий момент в рассматриваемом сечении, кгсм;

ω — площадь поперечного сечения связи, см²;

G — модуль упругости при сдвиге, кгсм/см².

Пересчет прочных размеров связей по пластмассовому прототипу не представляет сложности. При одинаковом материале корпуса прототипа и проектируемого судна изменение размеров связей зависит лишь от соотношения действующих нагрузок и расчетных пролетов.

Прогрессивный метод проектирования судовых конструкций из стеклопластика — прямой расчет, который при определенных исходных требованиях позволяет аналитическим путем подобрать оптимальные элементы уже на первой стадии проектирования эквивалентного бруса. К сожалению, теоретически обоснованный и практически действенный аналитический метод нет. Известны лишь рекомендации, устанавливающие определенный порядок расчета, который в известной мере облегчает предварительный выбор элементов эквивалентного бруса в начальной стадии проектирования корпуса. В дальнейшем первоначально принятые размеры элементов эквивалентного бруса и корпусных перекрытий корректируют по окончании расчетов.

Создание общей теории расчетного проектирования требует установления рационального конструктивного типа корпуса, систем набора, распределения материала по сечению эквивалентного бруса и др.

§ 8.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТИПЫ КОРПУСОВ СУДОВ

Конструктивные типы пластмассовых судов, несмотря на их разнообразие, по определенным характеристикам признакам можно свести в большую классификационную группу. Их можно разделить по конструкции обшивки: суда с гладкой однослойной, с односторонней гофрированной и с трехслойной обшивкой. Выделяют суда безбортовые, с минимальным набором, с различными св-

* При геометрии подобно описанной сторона пересчитываемых пластин.

системам набора. Объединяя указанные варианты, можно классифицировать конструктивные типы корпусов:

- бесбарьерные с однослойной гладкой обшивкой;
- минимально наборные с гладкой или гофрированной обшивкой;
- с двухслойной обшивкой;
- наборные с однослойной гладкой обшивкой;
- с трехслойной обшивкой.

Корпуса некоторых типов судов могут иметь одновременно признаки разных конструктивных типов, сочетающихся в том или ином варианте. В этом случае конструктивно корпуса следует отнести к комбинированному типу.

Проектируют суда комбинированной конструкции, в которых материал обшивки — стеклопластик, а набор выполняется из другого материала (чаще древесины).

При проектировании выбор того или иного конструктивного типа корпуса определяется многими факторами. Прежде всего, он зависит от размеров судна, назначения и особенностей его эксплуатации. В некоторых случаях решающее влияние на выбор конструкции корпуса оказывает серийность постройки, производственные возможности, опыт завода-строителя и экономические соображения.

Бесбарьерные корпуса с однослойной гладкой обшивкой (рис. 7, 8). Корпус такой конструкции состоит из относительно тонкой монолитной обшивки, не имеющей подкрепляющих ребер жесткости (шпангоутов или стрингеров). Конструктивная толщина обшивки при криволинейной ее поверхности оказывается достаточной для обеспечения жесткости корпуса. Облад жесткостью корпуса обеспечивается клеєм, планширами и балками.

Этот тип конструкции корпуса является простейшим и осуществляется преимущественно при постройке судов (прогулочных лодок с малыми скоростями) длиной не более 5 м. При увеличении размеров судна или скорости хода (иногда возрастает одновременно размеры и скорость) бесбарьерная конструкция корпуса с гладкой обшивкой неприменима.

Теоретически возможно в этом случае осуществить бесбарьерный вариант, обеспечив жесткость обшивки за счет увеличения ее толщины. Практически это делать нецелесообразно, так как резко увеличивается вес корпуса, возрастает стоимость судна (за счет большого расхода материала) и усложняется процесс формирования.

Возможность применения бесбарьерной конструкции значительно расширяется (с точки зрения увеличения размеров корпуса), если жесткость корпуса можно увеличивать за счет встроения конструкций (балки, воздушные ящики, стенки дефлектов и т. п.) и придавая корпусу специальную форму, характеризующуюся резко выраженной криволинейной обшивкой, наличием скула, слопов и т. п. (рис. 9).

Минимально наборные корпуса с гладкой или гофрированной обшивкой. При определенных условиях может получиться небольшое количество связей набора (например, 2—3 фора) для того, чтобы подкрепить обшивку в местах, где нельзя использовать местные встроения конструкции. Примером может служить сетная мото-

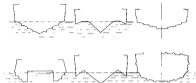


Рис. 7. Форма корпусной мотобот судна.

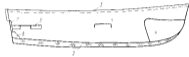


Рис. 8. Конструктивно схема прогулочной лодки «Карась» с бесбарьерной гладкой обшивкой.

- 1 — обшивка корпуса; 2 — шпангоут; 3 — планшир; 4 — воздушный ящик; 5 — стрингер; 6 — корпусная балка; 7 — транцевая доска; 8 — скула; 9 — шпангоут в кормовой части для усиления лодочного мотора.

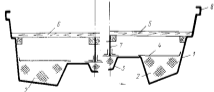


Рис. 9. Катамаранский мотор «Скабля».

- 1 — корпус; 2 — монолитный элемент; 3 — планшир; 4 — корпусная балка; 5 — обшивка; 6 — корпусная балка; 7 — дефлектор; 8 — обшивка; 9 — элемент; 10 — элемент; 11 — элемент.

лодка типа «Нельма» (рис. 10). Нередко, так же, как на безбортовых судах, обеспечивают жесткую обшивку и дилубы в оконечностях или по бортам заводненным в них объемам запаса плавучести пенопластом, как это выполнено на моторной шлювке ШРМП-5,5 (рис. 11).

Эффективным средством обеспечения жесткости обшивки является ее гофрирование. Скаланные гофры, расположенные вдоль судна, играют роль продольных ребер жесткости, но выгодно отличаются от последних в технологическом отношении, так как гофры формируют

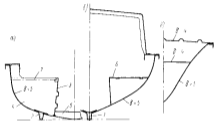


Рис. 10. Сетка корпуса лодки «Нельма» (сечение):

а — по в транзитной шпангоуту; б — в районе δ шпангоута; в — по поперечному шпангоуту; г — киль (от 2 до 50 см в длину, перегибы в дилубах); д — фланец киль-шпангоута (2, 3, 4, 5, 6); е — обшивка (дерево или пластик); ж — дилубовый дилуб (в районе дилуба); з — гофрированный фланец (тип — в районе а и в — алюминий); и — ШРМП-5,5; к — алюминий, пенопластовый рабочий поролон.

заводом с обшивкой. Это обеспечивает получение монолитной жесткой оболочки. Срезы гофрирования могут быть разнообразными по конфигурации и по расположению гофров, по их форме и размерам (см. рис. 7). Применение гофров на обшивке значительно упрощает задачу создания конструкции с минимальным набором, при которой достигается снижение веса и трудоемкости изготовления корпуса.

Примерами могут служить лодка «Кафо» серийной постройки (рис. 12) и прогулочный быстрходный катер «МК-31» (рис. 13). «Кафо» — небольшая прогулочная лодка безбортовой конструкции. Гофрирование обшивки минимальное: два гофра по дилубу и по одному углу на бортах.

На катере «МК-31» гофрировано только днище. Гофры в виде продольных рядов расположены по всей длине дилуба. Имеется единственная связь набора — вертикальный киль. Жесткость корпуса дополнительно обеспечивается двумя расположенными в него поперечными дилубами и переборкой носового поддувного ящика.

Целесообразность применения гофров с точки зрения уменьшения веса корпуса и снижения трудоемкости постройки несомненна. Это направление в создании рациональных пластмассовых конструкций следует рекомендовать. В каждом конкретном случае проектирования судна необходимо решить вопрос о применении гофров или набора.

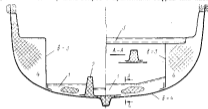


Рис. 11. Моторная шлювка ШРМП-5,5.

1 — фланец; 2 — фланцевый блок под дилубом; 3 — киль; 4 — бортовой киль-шпангоут; 5 — обшивка.

При проектировании гофрированной обшивки следует иметь в виду ее основные недостатки гофров. Для формирования обшивки с гофрами технологическая оснастка (матрица, пуансон) более сложная, чем для судов с гладкой обшивкой. С этой точки зрения имеет значение



Рис. 12. Прогулочная лодка «Кафо».

1 — киль; 2 — дилубовый киль; 3 — шпангоут; 4 — фланец борта; 5 — корпусный фланец-дилуб; 6 — пенопластовый дилуб; 7 — пенопласт в корпусе; 8 — пенопластовый блок.

направление выпуклости гофров. При изготовлении корпуса на пуансоне выпуклости гофров лучше направлять наружу, а при изготовлении в матрице — внутрь (рис. 14). В обоих случаях гофры образуются на рейках соответствующего профиля, прикрепленных к рабочей поверхности матрицы (пуансона), и усиление обшивки будет минимальным. Если сочетание типа оснастки с направлением выпуклости гофра будет обратным, то в пуансоне и в матрице необходимо делать соответствующие продольные выемки, что заметно упростит их изготовление.

К технологическим недостаткам приливает тофры на обшивке можно отнести некоторую сложность освобождения готовой обшивки от матрицы (пузырня). Однако это затруднение отпадает при разборной конструкции матрицы.

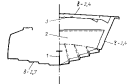


Рис. 13. Конструктивная схема резервуара «МК-50».

1 — вертикальный край (от 2 до 8 мм высотой); 2 — верхняя наружная обшивка (от 2,5 см высотой и шир); 3 — фланцевая часть 2х 80 мм и 2 зазора).

удобно производить преформушку повторного набора.

Недостаток гофрированной обшивки (особенно при использовании ее на крупных судах) — более низкая, по сравнению с гладкой обшивкой, работоспособность при обходе в местном поперечном изгибе.



Рис. 14. Схема элементов стенок пуэрсола и матрицы для изготовления корпуса с гофрированной обшивкой: а — гофры выуклостью наружу; б — гофры выуклостью внутрь; в — гофры выуклостью наружу.

Необходимо отметить обстоятельство, которое может ограничить применение гофрированной обшивки. Гофры увеличивают смещенную поверхность, а следовательно, сопротивление течения. В зависимости

от вида, формы и размеров гофры, возрастание смещенной поверхности может составить весьма существенную величину (на 20—25%). Поэтому формирование обшивки в подводной части надо согласовывать с требованиями ходкости.

Корпуса с двухслойной обшивкой (сборная конструкция). В ряде случаев оправданно обшивку, состоящую из двух монолитных оболочек (рис. 16). Внутреннюю оболочку устанавливают в наружную таким образом, что между ними образуется зазор, в котором установ-

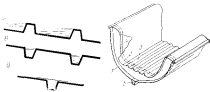


Рис. 15. Образование зазора между двумя гофрированными оболочками.

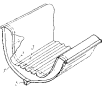


Рис. 16. Схема корпуса плавника с двухслойной обшивкой.

1 — наружная оболочка; 2 — внутренняя оболочка; 3 — гофры на внешней части внутренней оболочки; 4 — обшивка; 5 — вертикальный зазор между слоями.

ливает минимально необходимый набор для обеспечения жесткости оболочки.

Водонепроницаемый объем, заключенный между двумя оболочками, склеиваемыми по фланцу планшира, обеспечивает шлюзовую герметичность в случае затопления ее водой. Это основное преимущество двухслойной конструкции перед однослойной. Кроме того, при двухслойной обшивке улучшается отделка корпуса, что имеет немаловажное значение для прогнанных шлюзов, моторных лодок и катеров.

Недостатки двухслойной конструкции: несколько большая (по сравнению с однослойной) трудоемкость изготовления, обусловленная трудностью подгонки и приклейки балок набора к двум криволинейным поверхностям (без визуального контроля); в период эксплуатации трудно своевременно обнаружить повреждение наружной оболочки и устранить ее водотечность; при ремонте поврежденной обшивки трудно удалить воду из межоболочечного пространства.

Разновидностью корпусов с двухслойной обшивкой является конструктивный вариант с непонтовым наполнителем (рис. 17) *.

Наборные корпуса с однослойной гладкой обшивкой. При увеличении размеров или скорости судов растет напряженность корпусов. Поэтому обеспечение их необходимой прочности и жесткости становится все более сложной задачей. Пока проектируют судна

* В литературе это тип часто называют корпусом с трехслойной обшивкой.

с конструкцией корпуса, аналогичной конструкции металлических судов. Это направление в разработке пластмассовых судов получило широкое распространение. Большинство средних и крупных судов из стеклопластика имеют корпус, конструкция которого представляет

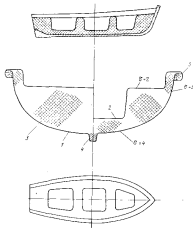


Рис. 17. Схематический рисунок с трехслойной обшивкой в стеклопластиковом исполнении.

1 — наружная обшивка; 2 — внутренняя обшивка; 3 — армированные заплатами; 4 — шпангоут; 5 — продольная балка;

с собой монолитную тонкую оболочку, подкрепленную приформованным набором, балка которого распределяется по поперечной, продольной или смешанной системе.

Подобные конструкции хорошо изучены в металлических судостроении, что сыграло большую роль в проектировании пластмассовых конструкций. Использование металлических конструкций в качестве прототипа с учетом особенностей нового материала в значительной мере облегчает общую задачу конструирования стеклопластиковых судов.

Главный недостаток сборной конструкции пластмассовых корпусов — сложность и трудность изготовления блочк набора, узлов их версеченки и приформовки к обшивке. Тем не менее достаточные прочность, жесткость и надежность корпуса в эксплуатации при использовании сборной конструкции с односторонней обшивкой определяют широкое распространение конструкции таких судов.

Корпуса с трехслойной обшивкой. Трехслойная обшивка представляет собой конструкцию, состоящую из двух наружных относительно тонких слоев из стеклопластика, между которыми помещается толстый слой из легкого наполнителя. Заноситель клевым способом соединяет с наружными слоями и обеспечивает их совместную работу.

В трехслойной обшивке реализуется идея создания рациональной конструкции, в которой силовой материал размещен по сечению на максимальное расстояние от нейтральной оси. За счет увеличенной при этом жесткости сечения и сплошной поддержки тонких силовых слоев легким наполнителем трехслойные конструкции способны работать с большой отдачей при различных видах нагрузки.

Основным достоинством трехслойной обшивки является ее высокая жесткость при изгибе и устойчивость, что очень важно для пластмассовых корпусов. Технологичность, прочность и эксплуатационные качества трехслойной обшивки в значительной мере определяются физико-механическими свойствами наполнителя. В качестве наполнителя используют различные пенопласты, сыпучие наполнители, бальзовую древесину.

Корпуса с трехслойной обшивкой получали распространение при изготовлении мелких судов, особенно яхтенок, так как при трехслойной конструкции легко решается задача обеспечения жесткости.

Вопрос о целесообразности применения трехслойной обшивки на средних и относительно крупных судах в настоящее время не получил определенного решения, в разное время специалистов по этому вопросу обобщаются.

Постройка и эксплуатация судов с трехслойной обшивкой выявляет ряд существенных недостатков конструкции. Малая толщина оболочки вызывает сосредоточение напряжений при сосредоточенных нагрузках (особенно динамических) и отслаивает его от оболочки, что снижает работоспособность трехслойной конструкции. В некоторых случаях наблюдается просачивание воды и намокание ее в наполнителе. Выявляют затруднения при установке крепления к трехслойной обшивке различного оборудования. По весу корпус с трехслойной обшивкой получается несколько выше и дороже чем вариант с односторонней сборной конструкцией. Усложняется технология изготовления, особенно, если легкий наполнитель по соображениям прочности необходимо дополнительно армировать жесткими ребрами.

Отмеченные недостатки вызывают у многих советских и зарубежных специалистов отрицательное отношение к трехслойным конструкциям. Однако за рубежом (США, Англия, Голландия) продол-

Ссылка	Линейная нагрузка	Число листов в шпангоуте, шт.	Средняя толщина листов в шпангоуте, мм	Плотность материала, г/см ³	Допустимые напряжения, кг/см ²			Модуль упругости, кг/см ² (10 ⁹)			Коэффициент Пуассона	
					$\sigma_{\text{длст}}$	$\sigma_{\text{крст}}$	$\sigma_{\text{ср}}$	E	ν	ν_1	ν_2	ν_3
С параллельной осью												
ПН-3	ХХК-1,0-Г-П	—	30	1,5	900	1300	300	0,8	0,29	0,35	0,35	0,35
		12	20	1,05	2000	1000	700	1,5	0,25	0,19	0,12	0,12
ПН-5	Железные стальные ТМС-0,15-0	12	20	1,05	2100	1500	800	1,5	0,25	0,12	0,12	0,12
		12	20	1,05	2100	1500	800	1,5	0,25	0,12	0,12	0,12
С параллельно-диагональной ориентации по схеме 1,2, 1,4, 1,4												
ПН-3	Железные стальные ТМС-0,15-0	12	30	1,5	1700	620	180	1,3	0,45	0,32	0,32	0,32
		12	20	1,05	1900	850	670	1,2	0,42	0,30	0,30	0,30
Их толщина в жгутовой связи с параллельной осью (область применения ХР-Х... 1,2, 1,4, параллельно, радиально)												
ПН-3	ХХК-1,0-Г-П и ТМС-0,15-0	—	30	1,08	1300	1140	600	1,2-1,6 ^а	0,27-0,09	0,21	0,21	0,21
		12	20	1,05	1300	1140	600	1,2-1,6 ^а	0,27-0,09	0,21	0,21	0,21

ванна палубы в средней части на 0,5 м а в носу — на 1,5 м. Таким образом, за расчетное давление принимают:

Для верхней палубы в средней части длиной судна,

$$\text{кг/см}^2$$

Для верхней палубы в носу, кг/см²

Для обшивки днища в средней части длиной судна,

$$\text{кг/см}^2$$

Для обшивки днища в носу, кг/см²

Для бортовой обшивки в районе A_1 ниже верхней

палубы, кг/см²

$$0,66$$

$$0,15$$

$$y \cdot B \cdot 10^{-9} + 0,06$$

$$y \cdot B \cdot 10^{-9} + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,05$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

$$y \cdot B_1 + 0,15$$

Принятые обозначения:

y — объемный вес воды, кг/см³

B — высота борта, см

A_1 — см.

Допускаемые напряжения в обшивке и палубе при работе этих элементов при общем изгибе корпуса и под местными нагрузками можно определить из выражений:

$$\sigma_{\text{доп}} = 0,35 \sigma_s \quad (2.14)$$

$$\tau_{\text{доп}} = 0,35 \tau_s \quad (2.15)$$

Допускаемые стрелки прогиба, вычисленные с учетом сдвиговой составляющей для речных и морских судов, принимают:

Для корпуса судна в шпангоуте 1/400 длины корпуса

Для обшивки 1/300 длины корпуса

По обычным формулам расчета пластин на изгиб, приводимым в справочниках по строительной механике корабля, в зависимости от соотношения сторон пластины и характера их заделки (определяется предварительно принятой схемой подкрепления обшивки балками набора) находят максимальный изгибающий момент при местном изгибе пластины. Зная величину изгибающего момента и допустимого напряжения, легко определить необходимую по условию прочности толщину пластины

$$t = \sqrt{\frac{M \cdot K_1}{\sigma_{\text{доп}}}} \quad (2.16)$$

По условию достаточной жесткости, поскольку величина прогиба пластины обусловлена действующими нормами ($\omega = 1/50$ пролета), из формулы для определения стрелки прогиба получим

$$t = \sqrt[3]{\frac{P \cdot K_2 \cdot L^3}{E \cdot G}} \quad (2.17)$$

где P — интенсивность равномерно распределенной нагрузки;
 L — короткий сторона обшивки корпуса;
 E — модуль упругости материала пластины при изгибе;
 G — стрелка прогиба;
 K_1 — коэффициент, зависящий от отклонения сторон пластины (см. табл. 5).

Из двух значений толщины обшивки, полученных по формулам (2.16) и (2.17), следует принять наибольшее.

В случае, если соотношение сторон пластины ($a : b$) более 2,5, т. е. когда пластина под действием поперечной силы изгибается по цилиндрической поверхности, калибрующий момент для пластины можно находить как для балки-полоски.

Найденные значения толщины обшивки и палубы корректируют и уточняют в последующих конструктивных разработках и поперечных расчетах общей и местной прочности.

Рейсов Регистр РСФСР в требованиях к постройке пластмассовых судов внутреннего плавания предлагает толщины наружной обшивки и палубы определять расчетом на условия общей и местной прочности. При этом регламентируются минимальные толщины (табл. 7.)

Регламентируемые толщины конструкций

Таблица 7

Наименование конструкции	Толщина, мм	Длина ствпа, м	Основа стеклопластика
Обшивка	4	Менее 15	Стеклоалюит
Палуба	3	> 15	>
Обшивка	5	Более 15	>
Палуба	4	> 15	>
Обшивка	3	Менее 15	Стеклоарголит
Палуба	3	> 15	>
Обшивка	4	Более 15	>
Палуба	4	> 15	>

Временные Правила Английского Ллойдя приблизительно к постройке пластмассовых рыболовных траулеров не предусматривают выполнения расчетов прочности; определение прочных размеров сволей корпуса производят табличным методом. В основу выбора типа материала наружной обшивки и ее толщины в этих правилах положены соображения по обеспечению необходимой прочности и жесткости, высокого сопротивления ударным нагрузкам, снижения стоимости материала и изготовления судна.

Толщина обшивки приведена в Правилах не в абсолютном метрическом выражении, а по весу рубяного стекловолокна (стеклохолста), отнесенного к единице площади стеклопластика в зависимости от длины судна. Например, для судна длиной 40 футов вес стекловолокна в одном квадратном футе должен составлять 14,5 унций (4400 кг/м²). Для судна длиной 70 футов вес стекла должен составлять 19 унций в одном квадратном футе обшивки (5800 кг/м²).

Каждое бы неудобная для практического пользования форма исходных показателей, для выбора материала обшивки имеет глубокий смысл. Ведь важна не только толщина, но и количество стекловолокна в этой толщине, так как оно определяет прочностные свойства стеклопластика.

Располагая количеством стекла (по весу) в единице площади обшивки, нетрудно составить формулу пересчета на абсолютные единицы толщины не только для стеклопластика на основе стеклохолста (преимущественно к которому составлена таблица Правил), но и для стеклопластика любого типа.

Если вес стеклового волокна в стеклопластике в абсолютном выражении обозначить через P_1 , а относительное его содержание — Δ , то можно написать

$$P = \frac{P_1}{\Delta}, \quad (2.18)$$

где P — вес данного объема стеклопластика.

Вес стеклопластика, выраженный через его объем

$$P = \gamma V, \quad (2.19)$$

где γ — удельный вес стеклопластика;

$V = \Delta b$ — объем стеклопластика площадью S и толщиной b .

Отсюда

$$b = \frac{P_1}{3 \Delta \gamma}. \quad (2.20)$$

В таблице Правил Ллойдя $S = 1$ кв. фут $= 930 \text{ см}^2$; $\Delta = 0,3$; $\gamma = 1,50 \text{ г/см}^3$.

Тогда можно получить формулу пересчета от веса к толщине стеклопластика для обшивки

$$b = \frac{P_1}{418}. \quad (2.21)$$

где P_1 — вес, г;

b — толщина, см.

В случае, если обшивку проектируют из стеклопластика другого типа, будет справедлива формула вересета

$$b = \frac{P_1}{418} \cdot \frac{\sigma_{ск}}{\sigma_{мк}}, \quad (2.22)$$

где $\sigma_{ск}$ — временное сопротивление стеклопластика на основе холста при растяжении;

$\sigma_{мк}$ — временное сопротивление проектируемого стеклопластика при сжатии.

Обработка табличных данных Правил Ллойдя позволила установить простейшие линейные соотношения, по которым легко и в зависимости от длины судна определить толщину наружной обшивки дна и борта, толщину обшивки в районе шпретрека и киля, а также ширину условных килевых и шпретрековых поясов.

Толщину наружной обшивки для судов длиной от 6 до 18 м можно определить по формуле

$$b_{до} = 0,356L + 5,4, \text{ мм.} \quad (2.23)$$

При $L = 18-30$ м

$$\delta_{\text{ш}} = 0,322L + 6, \text{ мм.} \quad (2.24)$$

Толщина ширстрека при $L = 6-30$ м

$$\delta_{\text{ш}} = 0,445L + 5,4, \text{ мм.} \quad (2.25)$$

Толщина килевого пояса при $L = 6-18$ м

$$\delta_{\text{к}} = 0,45L + 10,8, \text{ мм.} \quad (2.26)$$

Толщина килевого пояса при $L = 18-30$ м

$$\delta_{\text{к}} = 0,395L + 11,8, \text{ мм.} \quad (2.27)$$

Шарина ширстрека в см при $L = 6-30$ м

$$\delta_{\text{ш}} = 2,44L + 16, \text{ мм.} \quad (2.28)$$

Шарина килевого пояса при всех длинах судов не 15 см больше, т. е.

$$\delta_{\text{ш}} - \delta_{\text{ш}} \leq 15 \text{ см.} \quad (2.29)$$

Приведенные формулы могут быть использованы для определения толщины обшивки из стеклопластика на основе стеклохолста с относительным весом содержащего стекла 0,3 и пределом прочности $\sigma_{\text{ст}} = 900-1000 \text{ кг/см}^2$ при длине, равной 18 дюймам (457 мм). Они дают практически точную сходимость с результатами непосредственно пересчета табличных данных.

В случае, если шарина отличается от предусматриваемой Правилами Ллойда (не равна 457 мм), то полученная по формулам толщина обшивки должна быть увеличена или уменьшена из расчета 5% на каждый дюйм (25,4 мм) разницы.

Толщина палубного аэрила Правилами Ллойда регламентируется по тому же принципу, что и толщины обшивки. Материал и базовая шарина те же. Толщина настила палубы равна толщине наружной обшивки. Толщина и ширина палубного стрингера те же, что и для ширстрека.

Критерием работоспособности обшивки может быть принят так называемый допускаемый изгибающий момент, приходящийся на 1 см ширины пластины, который определяется по выражению

$$M_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} W, \quad (2.30)$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемое напряжение для обшивки, кг/см^2 ;

W — момент сопротивления сечения полоски шириной $b = 1$ см и толщиной δ , $\text{см} \cdot \text{см}^2$.

Поскольку $W = \frac{b\delta^3}{6}$, то допускаемый изгибающий момент (при $b = 1$)

$$M_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^3}{6}. \quad (2.31)$$

Для обеспечения прочности пластины необходимо соблюсти условия равенства допускаемого момента и максимального момента,

действующего на пластину, также приходится на ширину пластины в 1 см

$$M_{\text{доп}} = M_{\text{макс}}. \quad (2.32)$$

Действующий момент зависит от размеров пластины и нагрузки, определяемой осадкой (точнее — разностью напором гидростатического давления).

Зная величины действующих в пластине обшивки и палубы изгибающих моментов для различных судов, нетрудно определить некоторые толщины с учетом механических качеств материала, размеров пластины и длины судна.

Действительно, если

$$M_{\text{макс}} = f(L, P);$$

$$\sigma_{\text{доп}} = f(\delta, \sigma_{\text{ст}});$$

$$M_{\text{доп}} = \sigma_{\text{доп}} W,$$

то можно установить зависимость $\delta = f(L, l, \sigma_{\text{ст}})$.

Для этого необходимо спроектировать большую серию судов и провести полные расчеты общей и местной прочности наружной обшивки. Подобная работа, особенно, если учесть, что проектные серии корпусов нужно составлять для судов разных типов, является чрезвычайно обременительной. Однако ее целесообразно выполнять для составления правил Регистра.

Ограничимся иллюстрацией метода определения толщины обшивки по величине допускаемого момента, приняв за основу исходные табличные данные Правил Английского Ллойда. На рис. 18 даны кривые $M_{\text{доп}} = f(L)$ при различных значениях $\sigma_{\text{ст}}$. Они построены по выражению

$$M_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{\text{доп}} \delta^3}{6}, \quad (2.33)$$

где δ — толщина пластины, определенная из табличных значений веса стекла в единице площади стеклопластика обшивки в зависимости от длины судна;

$\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемое напряжение ($\sigma_{\text{доп}} = 0,35\sigma_{\text{ст}}$).

Используют график следующим образом. Определяют допускаемый изгибающий момент

$$\sigma_{\text{доп}} = \sigma_{\text{ст}} \left(\frac{l}{457} \right)^2, \quad (2.34)$$

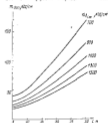


Рис. 18. Допускаемые изгибающие моменты для балластных цистерм в 1 см при толщине, соответствующей рекомендациям Правил Ллойда для наружной обшивки в зависимости от длины судна (балласт 457 мм).

где $m_{\text{доп}}$ — искомый допустимый момент (для проектируемого судна) кгс-см;

$m_{\text{доп}}$ — допустимый момент, взятый по графику в зависимости от длины судна и временного сопротивления стеклопластика, принятого в проекте, кгс-см.

l — шагная, принятая в проекте, см.

Толщину обшивки определяют по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{6m_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{доп}}}}, \text{ см.} \quad (2.35)$$

Пример. Найти толщину дилпелой обшивки для водоизмещающего судна длиной 20 м. Стеклопластик с пределом временного сопротивления на сжатие $\sigma_{\text{сж}} = 700$ кгс/см². Шагная $l = 400$ мм.

По графику находим $m_{\text{доп}} = 105$ кгс-см.

Искомый допустимый момент $m_{\text{доп}} = 105 \left(\frac{400}{217} \right) = 92$ кгс-см.

Толщина $\delta = \sqrt{\frac{6 \cdot 92}{0,33 \cdot 700}} = \sqrt{2,35} = 1,5$ см.

Если толщину обшивки в этом примере определить по формуле (2.24), получим

$$\delta = 0,322 \cdot 20 + 6 = 12,4 \text{ мм.}$$

Производим поправку на разницу в шапках

$$\delta, \% = -\frac{427-400}{224} \cdot 5 = -11\%.$$

Следовательно, с поправкой на шагную будем иметь

$$\delta = 12,4 - (1-0,11) = 11,02 \text{ мм.}$$

Учитывая, что формула (2.24) составлена применительно к стеклопластику с пределом прочности $\sigma_{\text{сж}} = 900-1000$ кгс/см², а в нашем примере $\sigma_{\text{сж}} = 700$ кгс/см², находим

$$\delta = 11,02 \frac{900}{700} = 15 \text{ мм (получен тот же результат).}$$

Такая точная сходимость результатов расчета по двум способам объясняется тем, что оба способа построены на одних и тех же исходных данных, заданных в Правилах Английского Ллойд.

При проектировании наружной обшивки и настила палубы необходимо соблюдать ряд обязательных основных положений.

Дополнительные слои армирующего материала для утолщения обшивки в районе килля, шпрстена, а также палубного стрингера, нужно укладывать при формировке попеременно с основными слоями, а не в виде пакета, укладываемого на обшивку снаружи или изнутри. При укладке основных и дополнительных слоев попеременно достигается большая степень монолитности конструкции, а при пакетной накладки все утолщение держится одним клеевым слоем и не исключено его отслоение.

При утолщениях, связанных, например, с образованием ледового пояса, наоборот, следует предусматривать именно пакетную

акциду. В этом случае утолщение можно рассматривать как отдельную конструкцию, предназначенную для защиты основной обшивки от истирания и повреждения льдом. Здесь имеет лишь значение такое формирование слоев армирующего материала, чтобы они оказывали форштевень исключая возможность задира при взаимодействии корпуса со льдом.

Переход одной толщины в другую в монолитных конструкциях (обшивка, настил палубы), во избежание концентрации напряжений и расслоения, должен быть плавным. По рекомендации Правила Ллойд изменение толщины должно составлять примерно 5—5,5 мм на каждые 100 мм бега в обычных местах и около 3,5 мм — в местах, подверженных более тяжелым нагрузкам и вибрации.

Чувствительность стеклопластика к малым очагам концентрации требует особого внимания к проектированию палубного настила и обшивки в районе шпрстена. Здесь имеет значение и конструктивное оформление шпрстена, и структура армирования стеклопластика. Как следует из [62] и [2], наиболее эффективной мерой борьбы с концентрацией напряжений в палубном настиле в районе шпрстена является применение разных структур стеклопластика по площади палубы. В сочетании с утолщениями, подкрепляющими вырезы, использование различных комбинированных схем армирования и зависимости от напряженного состояния участков конструкции позволяет резко снизить коэффициент концентрации напряжений. При больших ледовых вырезах ($\delta \geq 0,7B$), например, целесообразно весь настил палубы выполнять (если в качестве армирующего материала используется стеклорогожка) по диагональной схеме армирования, а в районах от продольных кромок ледовых вырезов по борту дополнительно уложить слой стеклопластика с продольным направлением основы так, чтобы в итоге образовал палубный стрингер с параллельно-диагональной структурой армирования. Дополнительные слои палубного стрингера должны быть уложены попеременно с основными — это является общим правилом выполнения утолщений, участвующих в составе обшивки и палубы.

§ 10.

НАБОР КОРПУСА С ОДНОСЛОЙНОЙ ОБШИВКОЙ

Набор корпуса из стеклопластика с однослойной обшивкой может быть выполнен (как на металлических судах) по различным системам. В настоящее время применяются поперечная, продольная и смешанная системы набора. Сравнительную оценку преимуществ и недостатков той или иной системы набора судовых корпусов из стеклопластика нужно производить во тем же признаках, что и для металлических судов.

Общая критериями являются вес набора, его работоспособность по обеспечению общей и местной прочности и жесткости корпуса, технологичность, степень громоздкости набором трюмов, удобство очистки отсеков и т. п. Однако в связи с особенностями свойств стеклопластика здесь особо важное значение приобретает число пере-

сечений балок набора в перекрытия и количество продольных балок, пересекающих поперечные водонепроницаемые переборки.

Слабая работоспособность соединений из стержней исключает возможность компенсации разрыва продольных балок на поперечных связях и переборках. Поэтому продольный набор должен быть непрерывным. Пересечения продольных балок с переборками являются ответственными и сложными узлами конструкции корпуса, поскольку нагрузка с прочностью должна быть обеспечена и водонепроницаемость.

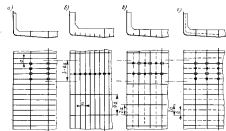


Рис. 19. Системы набора декивых перекрытий: а — смешанная; б — продольная; в — поперечная; г — смешанная, преимущественно поперечная (квадратах — пересечение балок равной высоты; кружком — пересечение балок разной высоты).

Узлы эти нежелательны, и поэтому, например, продольная система набора заметно уступает поперечной системе.

Сложными и трудными являются узлы пересечения несущих балок набора одинаковой высоты. Наилучшим является наиболее простое пересечение «в полурез», при котором каждая балка разрезается только наполовину. Но и в этом случае у одной из балок основной поиск разрезается и обеспечение монолитности узла представляется сложной задачей. Более простыми и надежными в работе являются узлы пересечения разновысотных балок.

На рис. 19 приведены четыре схемы различных систем набора применительно к одному и тому же судну с размерами, примерно, $L = 22$ м, $B = 5,6$ м.

По числу пересечений балок набора наименее удобной является смешанная система набора. Поперечная и продольная системы имеют примерно одинаковое число пересечений. Однако узлы пересечения балок набора в продольной системе яростнее.

По количеству узлов пересечения продольного набора с переборками поперечная система набора рациональнее продольной системы. При поперечной системе обеспечивается более легкое стыкование секций. Наибольшая протяженность прифрантовки набора в обычных у смешанной системы.

Общей рекомендацией о целесообразности применения той или иной системы набора судить нельзя, так как продольная и смешанная системы имеют преимущества перед поперечной по очень важным показателям. По весу benefits выдвигаются следующие: продольная и продольно-поперечная системы набора, поскольку наибольшая устойчивость пластины палубного настила и донной обшивки достигается при меньших значениях толщин.

Наибольшая жесткость корпуса при его общем изгибе (наименьшая стрелка прогиба), как показала исследования, проведенные в США для судов длиной более 30 м, обеспечивается при продольно-поперечной системе набора; удовлетворительная жесткость имеет место при продольной системе набора и неудовлетворительная — при поперечной. По эксплуатационным условиям, например, для длины речных грузовых судов, которые преимущественно имеют продольно-поперечная система в связи с наличием большого количества равномерно распределенных по перекрытию жестких узлов, образующих пересечения усиженных флоры и кильсона.

Применяемая Английского Lloyd для промысловых судов длиной до 30 м допускается любая система набора: поперечная, продольная и смешанная. Для малых судов длиной до 12 м Правила рекомендуют минимально-наборную конструкцию.

Временные требования Регистра РСФСР также допускают различные системы набора. Для судов длиной свыше 15 м рекомендуется комбинированная система набора — продольная для длины и палубы и поперечная — для бортов. Для судов всех классов длиной до 15 м допускается безбортовая или бортовая конструкция корпуса с трехслойной обшивкой.

В требованиях к прочности и конструкции корпусов судов из стеклопластика, подготовленных для включения в соответствующий раздел Правил классификации и постройки малогабаритных морских судов Регистра СССР, рекомендуется применение только поперечной системы и оговаривается условие особого рассмотрения прочих размеров связей, если в проекте судна предусматривается продольная или смешанная система набора.

Суда отечественной постройки в большинстве случаев имеют поперечную систему набора. Зарубежные суда небольших, средних и относительно крупных размеров строят с продольной и поперечной системой набора. В результате проектно-опытных работок и исследований специалисты США, например, пришли к выводу о том, что наиболее перспективной системой набора для стеклопластиковых судов длиной более 30 м является продольная.

Пока единой точки зрения специалистов по выбору систем набора не существует. Очевидно, однозначного решения не может быть. Целесообразность применения той или иной системы набора опре-

делается конкретными условиями проектирования в зависимости от типа судна, его размеров, формы корпуса, назначения, района плавания и т. д.

При проектировании судна, для которых первостепенное значение имеют вес корпуса и его общая прочность, целесообразно применять продольную систему набора. При необходимости максимально обеспечить общую прочность и жесткость корпуса и его отдельных перекрытий лучшая система — смешанная (продольно-поперечная). Во многих случаях для судна длиной 12—25 м выгодной может оказаться поперечная система набора.

В дальнейшем на основе результатов проектно-опытных проработок и исследований по мере накопления опыта проектирования, постройки и эксплуатации судов со стеклопластиковыми корпусами можно будет получить конкретные рекомендации по выбору целесообразных систем набора в зависимости от типа, класса, размеров и других особенностей проектируемого судна.

Шапки. Рациональность набора, определяемая его необходимой работоспособностью при минимальном весе перекрытия, зависит не только от системы расположения балок, но и от выбранных расстояний между ними.

Критические напряжения для стеклопластиковых и стальных пластин без учета анизотропии свойств стеклопластика равны, если при одинаковых размерах пластин в плане выдержать соотношение их толщин по зависимости

$$\frac{t_{ст}}{t_{ст}} = \sqrt{\frac{E_{ст}}{E_{ст}}} \quad (2.36)$$

При $E_{ст} = 2 \cdot 10^6$ и $E_{ст} = 0,6 \cdot 10^6$ (для стеклопластика на основе стеклохолста) получим $\frac{t_{ст}}{t_{ст}} = 5,76$. Тогда соотношение весов пластин составит

$$\frac{P_{ст}}{P_{ст}} = \frac{t_{ст}}{t_{ст}} \cdot \frac{\gamma_{ст}}{\gamma_{ст}} = 5,76 \cdot \frac{1,6}{7,8} \approx 1,1.$$

Это означает, что сохранение одинаковых расстояний между поперечными и продольными балками набора для корпуса из стеклопластика в стали приводят к увеличению властмассовой оболочки и конструкции в целом и, таким образом, исключают возможность рационально использовать одно из основных преимуществ стеклопластика — его высокую удельную прочность. Напрягается вывод о том, что в суднах перекрытия из стеклопластика балки набора следует располагать чаще, чем на металлических судах. Действительно, для большинства построенных в СССР и за рубежом речных и морских судов наборной конструкции шаг шапки составляет 350—450 мм, т. е. 0,7—0,8 от шапки для металлических судов соответствующих классов и размеров.

Рекомендуется принимать шагшию, составляющую 0,75 от шапки стального прототипа. Максимальный размер шапки по [2] дол-

жен находиться в пределах 400—450 мм для изоэричной системы набора и 500—750 мм — для смешанной.

Временные требования Речного Регистра РСФСР при поперечной системе набора предлагают принимать постоянную шагшию, равную 500 мм для судов внутреннего плавания всех классов. При этом рекомендуются следующие расстояния между кильсонами (для судов с длиной более 15 м):

Для судов класса «Б», д	1,0
» » » «В», »	1,25
» » » «В», »	1,50

При продольной системе набора Требования Речного Регистра рекомендуют принимать расстояния между продольными балками 350 мм.

Ориентация на постоянную шагшию, независимо от класса и размеров судна, нельзя считать правильной.

В Правилах Английского Ллойд также принята одна шагшия для балок главного направления (при поперечной и продольной системах), однако методика определения размеров прочных связей позволяет проектировать судовые перекрытия при любых других расстояниях между балками набора. Это расширяет возможность конструктора в поисках рационального решения задачи в зависимости от конкретных условий проектирования.

Профиль балок набора. На небольших судах зарубежной постройки широко применяют подкрепляющие ребра в виде тонких полусферического сечения (рис. 20, а). На них расходуются много материала, они обладают малой жесткостью, однако тельмогичны. Полосы легко формируются непосредственно в корпусе и отделка с последующей их укладкой в створом виде на обшивку; пакеты-полосы легко укладываются на криволинейной поверхности обшивки и вполне надежно с ней склеиваются. Формовку таких балок-полосок целесообразно осуществлять на ровных с промежуточными слоями стеклохолста для лучшей передачи слоев розинки. Ребра-полоски рационально применять в тех случаях, когда мало ограничено по высоте. Известно для таких случаев Правила Ллойд и допускают применение этих ребер (если они имеют, локонные кривые над котлом и т. п.).

На малых зарубежных судах часто можно встретить пустотелые полукруглые ребра, которые формируются непосредственно в корпусе на предварительно выставленных оформителях (рис. 20, б). Оформители можно изготовить из различных материалов (металлические, из картонных труб, из стеклопластика и т. п.). Они должны быть легкими, износостойкими и достаточно жесткими, чтобы сохранять форму в процессе формирования. Полукруглые ребра легкие и более жесткие, чем ребра-полоски, но форма поперечного сечения полукруглых ребер также мало рациональна (по моменту сопротивления).

Широкое распространение в СССР и за рубежом получили профили П-образного и трапециевидного сечения. Их можно изготовить заранее в виде пустотелой заготовки и приформовать к обшивке

(рис. 20, в) или же можно формировать непосредственно в корпусе на различных оформителях (рис. 20, г, д).

За счет усиления верхнего пояса (спинки) дополнительной армировкой ривиней (стекловолокном) возможно значительно повысить

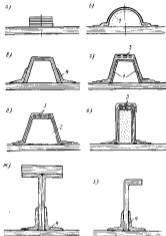


Рис. 20. Профили балок набора: а — плоская; б — куполообразная (полукруглая) на оформителе, формируемая на месте; в — трехшестиугольная куполообразная, вырезанная изотокосной; г — трехшестиугольная куполообразная на оформителе с усиленным пояском; д — трапециевидная на заводском оформителе с усиленным пояском; е — П-образная с усиленным пояском на заводском оформителе; ж — Т-образная; з — Г-образная.

1 — оформитель; 2 — свободная поверхность оформителя; 3 — усиленный слой ривиней или стекловолокна; 4 — армировочные уголки.

работоспособность профиля. Трапециевидные и П-образные профили технологичны и устойчивы при поперечном изгибе и осевом сжатии. Они хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации. В зарубежном судостроении П-образные и трапециевидные профили с армированием

вышесказанным* являются основным типом балок набора для средних и крупных судов всех типов.

В бесчелюстном судостроении П-образные профили рекомендуются в качестве основного набора для судов длиной до 15 м. Для более крупных судов целесообразно применять балки таврового сечения. Несмотря на несколько большую трудность изготовления тавровых профилей, в них более рационально распределяется материал по сечению. Приформовывание с двух сторон обеспечивает надежное соединение балки с обшивкой. Тавровые профили по весу и прочности дают существенные выгоды. Усиленные слои набора — ривиней, диагоналы, якорь, стрингеры и др. — рекомендуются выполнять для всех судов в виде балок с тавровым сечением.

Балки П-образного профиля целесообразно выкатывать из стеклопластика на основе стеклохолста, а Т-образные — с комбинированным армированием: стенку и часть (нижнюю часть) пояса — на основе стеклохолста, а основную толщину свободного пояса — на основе сатиновой ткани.

Из других профилей, которые могут быть применены, можно отметить балки Г-образного сечения. Они технологичны в изготовлении и в виде заранее выполненных профилей приформовываются с помощью угольников к обшивке. Однако их можно рекомендовать лишь для небольших судов и мало напряженных перекрытий, так как несимметричные профили при изгибе склонны к закручиванию и потере плоской формы изгиба, что является особенно неблагоприятным явлением для балок из материала с низким модулем G.

Размеры балок набора определяются в зависимости от величины и характера прилагаемых расчетных нагрузок, пролетов и конструктивных особенностей опор. Элементы сечения профиля, т. е. площадь F, момент сопротивления изгибу W и момент инерции J, должны быть выбраны так, чтобы удовлетворили условиям прочности, жесткости и устойчивости. Эти условия выражаются общепринятыми зависимостями:

прочность при поперечном изгибе

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{W} \leq \sigma_{разл} \quad (2.37)$$

жесткость (прогиб) при поперечном изгибе

$$\alpha = K \frac{Ql^3}{J} \leq \alpha_{разл} \quad (2.38)$$

устойчивость (жесткость) при продольном изгибе

$$\sigma_{изг} = \frac{N F_0}{F} < \sigma_{крит} \quad (2.39)$$

где Q — нагрузка;

l — пролет балки;

* Поступают профили в виде с выкатыванием их поперечника в заданном направлении из жидкого материала. Профиль с выкатыванием обладает большей устойчивостью.

K — коэффициент в выражении прогиба, определяемого с учетом двусторонних деформаций;

φ — коэффициент сжатия эйлеровой (P_0) нагрузки от сдвига; σ_0 — осевое напряжение при сжатии ($\sigma_0 \rightarrow \sigma_{0, \text{max}}$).

Решение задачи о подборе профилей балок при выбранной системе набора можно условно разделить на два этапа.

На первом этапе, исходя из конкретных условий работы каждой рассматриваемой балки, определяют расчетную нагрузку, изгибающий момент и в зависимости от принятых допускаемых напряжений находят необходимый момент сопротивления

$$W = \frac{M_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}}. \quad (2.40)$$

На втором этапе подбирают элементы профиля (носов, стекла) так, чтобы требуемое значение момента сопротивления удовлетворялось при наименьшем весе балки.

В обоих этапах подбора профилей имеются определенные трудности. Балки, как правило, работают не изолированно и для определения изгибающих моментов, действующих в их сечениях, требуется рассматривать работу швертбруса в целом. Это достаточно сложно и трудоемко. Продольные связи, кроме того, нужно рассчитывать как балки, нагруженные одновременно и поперечными и осевыми силами от общего изгиба. Существует также ряд конструктивно-технологических факторов и эксплуатационных условий, которые трудно учесть при расчетном проектировании.

Экспериментально-теоретические исследования, опытное проектирование, постройка и эксплуатация судов позволили классифицированным обществам наложить определенный материал и выработать рекомендации по выбору необходимых размеров связей набора. Имеется в виду, в частности, рекомендации Правил Ллойда к ребристым судам длиной 6—30 м из стеклопластика на основе стеклохолста. В таблицах Правил значение моментов сопротивления балок основного набора дано в зависимости от их пролета при постоянной шпации, равной 457 мм.

На рис. 21 приведены кривые $W = f(l)$, отражающие рекомендации Правил Ллойда по выбору размеров бортовых шпангоутов, флорин и бимсов при поперечной системе набора.* В бортовом наборе предусмотрена установка рамных шпангоутов (во риге чем через 6 шпаций) для увеличения общей поперечной прочности с моментом сопротивления в 3 раз большим, чем для обычных шпангоутов. Рамные шпангоуты должны быть прочно соединены с флоринами и бимсами (или полубимсами в районе люковых вырезов), образуя мощные замкнутые рамы (или полурамы). Если пролет l превышает 2,4 м, Правила рекомендуют ставить бортовой стрингер.

Для всех связей (шпангоуты, флорин, бимсы) в случае, если принята при проектировании шпация отличается от 457 мм, момент

сопротивления изменяется прямо пропорционально изменению шпации. Момент сопротивления также должен быть изменен в прямой пропорции в зависимости от отношения 950/90, если при проектировании используют материал с временным сопротивлением σ_0 , отличающийся от материала и положенного в основу Правил Ллойда со средним значением его предела прочности около 950 кгс/см².

На рис. 22 приведен график значений моментов сопротивления для динговых балок основного направления при продольной са-

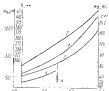


Рис. 21. График для определения момента сопротивления балок набора при поперечной системе: $W_{фл}$, $W_{бим}$, $W_{шп}$ — моменты сопротивления, соответственно, шпангоутов, бимсов, флорин.

1 — флорин ($W_{фл}$); 2 — бимсы флорин (к); 3 — рамный набор ($W_{шп}$); 4 — установленная бортовой стрингер; 5 — бимсы ($W_{бим}$).

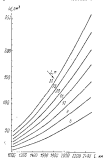


Рис. 22. График для определения момента сопротивления динговых балок основного направления при продольной системе набора.

стеме набора. Значения W даны в функции пролета l для судов разной длины. Расстояние между продольными балками (шпация) также составляет 457 мм. Момент сопротивления продольных балок по борту должен составлять 80% от W для динговых балок. Известное значение момента сопротивления в случае применения других шпаций (не равных 457 мм) и материалов с пределом прочности, не равным 950 кгс/см², производится также, как и в предыдущем случае для балок при поперечной системе набора.

Рекомендуемые Правилами Ллойда значения моментов сопротивления балок набора для промышленных судов могут быть использованы при проектировании и других водонепроницаемых морских судов со следующими соотношениями главных размеров:

$$\frac{l}{H} = 6 - 10; \quad \frac{l}{B} = 3 - 5; \quad \frac{B}{H} = 2 - 2,5.$$

Наличие таблиц или графиков, по которым может быть легко найдены требуемые значения W существенно облегчает работу проекти-

* Величины пролета l для бортовых шпангоутов и флорин соответствуют высоте борта.

ровника и оставляет ему свободу в отношении выбора формы и размеров сечения профиля. В случае отсутствия таблиц (при проектировании других типов судок, отличающихся соотношениями главных размеров), скоростями хода и др.), необходимо тщательно учесть нагрузки, которые будут действовать на корпус, и расчетным путем определить величину момента сопротивления.

Проектирование элементов стеклопластикового профиля по найденному значению момента сопротивления в общем подчиняется тем же принципам, что и в стальном судостроении, где этот вопрос детально изучен. Однако из рационального распределения материала

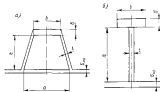


Рис. 23. Элементы профилей балок типа: а — трапециевидный; б — прямоугольный.

по сечению профиля из стеклопластика должен иметь единую прочность материала и его прототипа. Указанные особенности свойств материала проявляются в работе стенки профиля на устойчивость и в привлечении к работе профиля носка обшивки.

Эти вопросы достаточно подробно рассмотрены в работах [62] и [67]. Не останавливаясь на теории вопроса, отметим лишь, что относительная толщина стенки профиля должна быть больше, чем толщина стенки стального профиля, а ширина присоединяемого носка должна составлять не более 1/6 пролета балки (при параллельно-диагональном армировании) и не более 1/10—при параллельном армировании.

С учетом этих особенностей можно рекомендовать для титановых и коррозийных (траншейных) балок элементы профилей, показанные на рис. 23.

Для титанового профиля можно рекомендовать следующую соотношения:

$$l = \frac{1}{25} \delta; \quad \delta = (1,5 - 2,5) t; \quad \delta = (0,5 - 0,6) \delta_0;$$

$$l = (0,6 - 0,8) \delta_0.$$

Для коррозийного профиля можно рекомендовать соотношения: $l = \frac{\delta}{10-15}$; (δ не более 400); $l = \frac{\delta_0}{1,5-1,7}$ при l не менее 0,5 δ_0 ; $\delta = (1,5 - 3) t$; $\delta = \frac{b}{1-3}$; $a = (1-2) b$.

§ 11.

ТРЕХСЛОЙНЫЕ КОРПУСНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Материалы наполнителей. Эффективность работы трехслойной конструкции (обшивки, палубы, переборки) во многом зависит от качества наполнителя и прочности его соединения с несущими слоями. При малом объеме веса наполнитель должен обладать достаточной единичной прочностью, так как совместная работа внешних слоев обеспечивается за счет касательных усилий. Заполни-

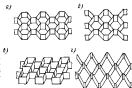


Рис. 24. Некоторые виды наполнителей: а — тканевый; б — ребристый; в — гофрированный; г — сотный.

тель должен быть прочно соединен (склеен) с наружными слоями. Важно, чтобы он не допускал распространения воды (в случае повреждения одного из внешних слоев) к клеювым слоям. Материал наполнителя должен обладать в ряду других нужных физико-механических и технологических свойств: достаточной твердостью и упругостью, незначительным образованием жестких пятен под действием сосредоточенных сил; удовлетворительной обрабатываемостью механическими средствами и др. Наполнитель должен иметь низкую стоимость.

Абсолютные значения показателей прочности и жесткости для основных материалов наполнителя очень низки (табл. 8). Так, например, пенополиуретан по средине поперечника имеет предел прочности на сжатие в 50, а модуль сдвига в 150 раз меньше, чем значение этих же показателей для стеклопластика на основе стекловолокна. Его удельная прочность также в несколько раз ниже, чем у стеклопластика.

Наиболее прочными и жесткими являются сотные наполнители. Они представляют собой конструкции вертикально-многослойного типа, образованные тонкими гофрированными полосами из крафтбумаги, хлопчатобумажной ткани, металла или другого материала (рис. 24).

Характеристики основной материалла эрлювчелер

Материал, марка	Плотность ρ , г/см ³	Пределы прочности, МПа*	
		при сжатии $\sigma_{сж}$	при сжатии $\sigma_{сж}$
Пенополиэтилен ПС-4	0,035—0,06	1,7—4,0	1,7—4,0
Пенополиэтилен ПС-1	0,06—0,12 0,12—0,22	2,5—8,0 8,0—30	7—16 16—32
Пенополиэтилен ПХВ-1	0,05—0,13 0,13—0,22	2—7 7—30	7—15 15—32
Пенополиуретан ПУ-101, ПУ-3С	0,05—0,2	3—30	7—30 γ — 0,14
Соты на кровлюман	0,06—0,07	10	6
Соты из пенополибутиленовой пены	0,06—0,14	40	18
Балласты (революционные технологии) пенополиуретан и пенополистирол	0,065—0,300	3—20	9—27

Форма ячеек в плаве бывает различной — квадратной, шестиугольной, ромбовидной и т. д. Размер ячеек, определяемый диаметром окружности, описывающей форму ячеек, также может быть различным.

Прочностные характеристики сотных заполнителей зависят от материала сот и их геометрических размеров. По весовым и прочностным показателям, учитывая возможность механизированного изготовления сотных заполнителей, их следует считать перспективным материалом для изготовления трехслойных конструкций. К ним проявляется большой интерес и обсуждается возможность промышленного освоения сот различных типов.

Указан местом использования сот является сложность и малая надежность их клевого соединения с несущими слоями, особенно при формировании криволинейной судовой поверхности. Некачественное клевое соединение торцов сот с внешними слоями нарушает монолитность работы трехслойной панели и создает возможность растрескивания по всему объему заполнителя воды, просачивающейся через обшивку в каком-либо месте. Подобное явление прогнозируют при эксплуатации тральщика ВМС США (длина 17,5 м) — одного из первых судов с трехслойной обшивкой с сотным заполнителем.

в судных трехслойных конструкциях

Условная толщина δ , мм	Макс. нагрузка, МПа*		Податливость γ , %	Дополнительные сведения
	при сжатии σ	при сжатии σ		
5,0	80	80—100	0,3	Последелается в виде плит. Клеится на прочном клею. То же. Технологические качества хорошие, но мал размер ячеек (блоков)
4,2—13,6	120—240 240—460	125—250 250—470	0,3	
4,6—13,6	120—240 240—460	125—250 250—470	0,2—0,3	То же
6—15	—	145 при $\gamma = 0,14$	0,1	
15 30	200 400	100 200	3—4 1—2	Влагопоглощение большое, гигроскопичность высокая. Требуется герметизация
4,6—6,7	$1,4 \cdot 10^4$ — $7 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^4$	—	

Целесообразно применять соты для плоских панелей — обшивки и продольных переборок, платформа, а также палубы.

За рубежом при строительстве морских судов с трехслойной обшивкой (длина до 25 м) широкое применение находят пенополиуретановые заполнители и, в частности, пенополиуретаны. Последние отличаются широкими технологическими возможностями. Их можно применять твердыми блоками и в виде жидкой композиции, которой можно заполнять объемы сложной конфигурации с последующим отверждением без усадки.

Пенополиуретан имеет хорошую адгезию ко многим материалам. Поэтому появилась возможность отказаться от применения клея. По сравнению с другими пенопластами типа ПС и ПХВ пенополиуретан обладает несколько более высоким механическими качествами, меньшей водопоглощаемостью, повышенной теплопроводностью (120°С против 60°С для ПХВ и ПС), меньшей склонностью к ползучести. Пенопласты пока очень дороги и поэтому применяются не широко.

Дешевым заполнителем является балласт, используемый при постройке ластовых судов на американских верфях. Балласт — древесина, отличающаяся малым объемом весом и относительно высокими механическими качествами. Она легко обрабатывается. К сожалению, балласт обладает низкой водостойкостью. Подвергается у-

лужению, она набухает и гниет. Поэтому бальзовую древесину можно использовать в качестве заполнителя лишь для палуб и переборок, не подвергающихся непосредственному воздействию воды.

Приведенные выше характеристики материалов, используемых в качестве заполнителей в судовой трехслойной конструкции, показывают, что ни один из этих материалов не удовлетворяет в полной мере предъявляемым требованиям.

Дальнейшее развитие трехслойных конструкций зависит от решения проблемы получения дешевого, легкого, прочного и водостойкого материала-заполнителя, обладающего широкими технологическими возможностями.

Типы трехслойных конструкций. Основной тип трехслойной конструкции имеет односторонний заполнитель с двумя внешними слоями одинаковой толщины (рис. 25).



Рис. 25. Трехслойная палуба с односторонним заполнителем.

1, 2 — наружные слои; 2 — заполнитель из пенопласта.

Разновидностями этого типа являются конструкции, различающиеся видом заполнителя (пеностеклятый, стальной и т. д.) и соотношением толщин наружных слоев.

Конструкции с односторонним, например, пеностеклятым заполнителем наиболее просты по своей композиции и относительно несложны в изготовлении. Однако в связи с невысокой механической прочностью материала заполнителя возможность использования такой конструкции в судовых переборках ограничена.

Недостаточная жесткость переборки при объем ее поперечном изгибе, плохая сопротивляемость местным сосредоточенным нагрузкам вынуждают армировать заполнитель системой поперечных и продольных ребер из более прочного материала (чаще из стеклопластика). Армирование заполнителя повышает общую и местную прочность трехслойной обшивки. Повышение прочности зависит от способа и схемы армирования, а также от конструктивных решений и технологии выполнения. Армирование усиливает конструкцию и технологично ее выполнение. В связи с этим не гарантируется полная и надежная работа армирующих элементов в составе переборки.

На рис. 26 показана конструктивная схема трехслойной палубы с армированным заполнителем из пенопласта. Армирующие элементы в виде тонких ребер — волос расположены по взаимно перпендикулярным направлениям (вдоль и поперек судла), образуя клетчатую каркасную систему. Если предположить, что армированный заполнитель работает как монолитная конструкция, то приведенные механические характеристики* для среднего слоя могут быть определены по выражениям:

при растяжении и сжатии вдоль армирующих элементов

$$\sigma_x = \sigma_1 K + \sigma_2 (1 - K); \quad (2.41)$$

$$E_x = E_1 K + E_2 (1 - K); \quad (2.42)$$

при сдвиге

$$\tau_{xy} = \tau_1 K + \tau_2 (1 - K); \quad (2.43)$$

$$G_{xy} = G_1 K + G_2 (1 - K); \quad (2.44)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — пределы прочности на сжатие и растяжение;
 τ_1, τ_2, τ_3 — пределы прочности на сдвиг;
 E_1, E_2, E_3 — модули нормальной упругости;
 G_1, G_2, G_3 — модули упругости при сдвиге;
 K — коэффициент (степень) армирования.

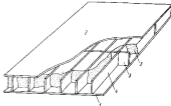


Рис. 26. Трехслойная палуба с армированным заполнителем.

1, 2 — наружные слои; 2 — армированный пенопласт; 3 — продольные армирующие ребра; 3 — поперечные армирующие ребра.

Из приведенных формул видно, что конструктивным параметром, определяющим физико-механические свойства армированного пенопласта, является коэффициент армирования

$$K = \frac{b}{c}, \quad (2.45)$$

где b — толщина армирующих ребер;
 c — шаг армирования.

Исследования показали, что сходимость значений механических характеристик армированного пенопласта (полученных по формулам) с экспериментальными данными зависит от коэффициента армирования (способа) и жесткости пенопласта. Расхождение возрастает при повышении коэффициента армирования и снижении объемного веса заполнителя. Удовлетворительная сходимость результатов, за-

* Иллюстрация 1 и 2 относятся соответственно к армирующим элементам и заполнителю.

пример, при сжатии вдоль армирования имеет место при $K \leq 5$ и объемном весе $\gamma > 0,14 \text{ т/м}^3$.

Результаты расчета по формулам показывают, что единичная жесткость увеличивается с 50 до 250% (для армированных ребер из стеклопластика на основе стеклохолста) при возрастании K от 0,01 до 0,06. Можно сделать вывод, что уже при сравнительно небольшой степени армирования пенопласта (около 3–5%) можно создать заполнитель трехслойной конструкции, при котором силовые слои будут полностью работать на сжатие независимо от их толщины.

Армирование, повышая прочность конструкции, одновременно увеличивает ее вес. Приведенный объемный вес армированного заполнителя определяется, очевидно, по выражению

$$\gamma_4 = \gamma_2 K + \gamma_1 (1 - K), \quad (2.46)$$

где γ_1 — объемный вес материала армирующих ребер;

γ_2 — объемный вес пенопласта;

K — коэффициент армирования.

При $\gamma_1 = 1,5$, $\gamma_2 = 0,15$ и $K = 0,025$ получим $\gamma_4 \approx 0,18$. Объемный вес понизится на 29%. Одновременно, как отмечено выше, при этих же условиях, жесткость заполнителя, выраженная через модуль сдвига, повысится на 80%. При повышении степени армирования на 5% возрастает относительный объемный вес и жесткость соответственно на 44 и 240%.

Возрастание жесткости заполнителя при армировании идет быстрее, чем возрастание объемного веса, что говорит в пользу армирования. Однако повышение степени армирования, связанное с увеличением числа ребер, повышает трудность работ по приформовке ребер к силовым слоям и по склеиванию их со стеклохолстом. Поэтому целесообразно увеличивать толщину армирующих ребер. Тогда при сохранении величины K шаг армирования увеличится, уменьшится число ребер, снизится трудоемкость.

Выбор шага армирования нужно связывать с условиями работы трехслойной панели, с характером действующих на нее сил. Уменьшение шага армирования может оказаться необходимым с точки зрения повышения местной жесткости трехслойной конструкции под воздействием на нее поперечных сил, распределенных по участкам малой площади.

Работа армированного заполнителя и всей трехслойной панели монолитной конструкции зависит от качества крепления ребер к наружным слоям обшивки и склеивания их с пенопластом, что в значительной мере определяется технологией изготовления. При использовании блочного пенопласта обеспечение надежной монолитности конструкции осложняется весьма сложной задачей.

Просто решается вопрос с применением жидкого вспенивающего пенополиуретана. Английской фирмой Tuley Booc Сопрану разработана и освоена следующая схема технологии изготовления судов с трехслойной обшивкой. К наружному слою обшивки, изготовленному в матрице, тщательно приформовывают поперечные и продольные армирующие ребра. Затем с помощью расплывающегося

пенопласта образованные ребрами клетчатые ячейки заполняются пенополиуретаном. Затвердевший пенополиуретан механическим способом заглаживают до уровня верхних кромок ребра, в результате чего получается чистая поверхность, на которой и формируют верхний несущий слой.

Армирующий каркас надежнее работает в составе всей конструкции, если ребра не разрезаются в местах пересечений. Лучший конструктивный вариант пересечения продольных и поперечных ребер — их взаимная резка на полувысоту.

Армирующие ребра не должны прерываться на всей длине конструкции. На их приклейку к несущим слоям в районе опорных контуров, например, на переборках, где действуют наибольшие касательные напряжения, следует обратить особое внимание.

На рис. 27 изображена другая схема армирования пенопластового заполнителя, отличающаяся от рассмотренной выше формой поперечного сечения армирующих ребер. С точки зрения технологии армирование в одном направлении более выгодно. Действительно, при этом и том же коэффициенте армирования, который можно определить по выражению

$K = 2b/c$, количество ребер и приформовочных соединений с нижним силовым слоем будет в два раза меньше. При введении поперечных ребер П-образной формы узлы пересечения поперечных и продольных ребер заметно упрощают технологию армирующего каркаса, увеличивают трудоемкость его изготовления.

Работоспособность при изгибе панелей с алюминием и П-образными ребрами можно считать одинаковой. У панелей первого типа возможно обеспечить прочное соединение ребер с нижним силовым слоем (таблетки двусторонняя армировка); соединение с верхним слоем остается малоудовлетворительным. У панелей второго типа получается слабое соединение стенок ребер с нижним силовым слоем, поскольку приформовка выполняется односторонней. Верхний силовой слой приформовывается к относительно широкому спинкам П-образных ребер.

Местная жесткость выше у панелей с плоскими ребрами, так как при одинаковой степени армирования расстояние между П-образными ребрами больше.

Сравняя варианты конструкции панелей с П-образными ребрами, можно высказать некоторые соображения в пользу заполнения профилей ребер. Так, например, при изгибе и сжатии панели вероятность отслоения от заполнителя в юбите устойчивости стенок пустотелого профиля будет большей, чем при заполненных ребрах.

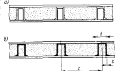


Рис. 27. Трехслойная панель с пенопластовым заполнителем, армированная П-образными ребрами: а — с пустотелыми ребрами по форме; б — с заполненными ребрами.

Недостаточная единговая прочность заполнителя проявляется тем больше, чем больше толщина его слоя. Нарастание сплюснутых деформаций по высоте слоя заполнителя при изгибе трехслойной панели приводит к тому, что привлечение одним слоем другим другого к работе на изгиб через передачу касательных усилий становится невозможным. Поэтому при больших толщинах трехслойных конструкций целесообразно выводить средний (промежуточный) силовой слой (рис. 28). Поскольку его изготовление состоит в передаче касательных напряжений от одного навалонителя к другому, толщина его может быть взята в несколько раз меньше толщины внешних силовых слоев. Подобная конструкция наружной обшивки с двухслойным заполнителем осуществляется на ряде судов зарубежной постройки.



Рис. 28. Трехслойная панель с армирующим слоем.

1, 2 — внешние силовые слои; 3 — армирующий слой; 4 — стволчатый армирующий слой.

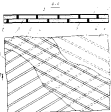


Рис. 29. Трехслойная панель со сложной формой армирования.

1, 2 — наружный слой; 3 — верхний слой заполнителя; 4 — армирующий слой; 5 — нижний слой заполнителя; 6 — армирующий ребро; 7 — верхний слой заполнителя; 8 — армирующий ребро второго слоя заполнителя.

При проектировании крупных судов ($L > 35$ м) за рубежом применяются более совершенные конструктивные типы трехслойной обшивки, например, конструкцию с двухслойным заполнителем, армированным стекложгутом по диагонально-перекрестной схеме (рис. 29). Эта конструкция была предназначена для траулера длиной 35 м. Была рекомендована следующая схема выполнения обшивки. После формирования наружного слоя к нему приклеиваются ромбовидные блоки неоклеиста первого слоя заполнителя так, что между их рядами образуются зазоры, расположенные параллельными линиями под некоторым углом к ДП. В зазоры вкладываются стекложгуты с заливкой их смолой. Затем формируется промежуточный тонкий силовой слой, на который с арыклейкой накладываются блоки неопластов второго слоя навалонителя. Укладку их делают так, чтобы зазоры составили тот же угол с ДП, но другого направления. В эти зазоры также укладываются стекложгуты, заливаемые смолой, и формируется наружный (по отношению к судну — внутренний) силовой слой. Внешние слои формируются на стволчатых и параллельных основах, совпадающих с направлением армирующих ребер.

Расширенная конструкция трехслойной обшивки заслуживает внимания. К сожалению, сведений о ее практическом осуществлении в результатах эксплуатации не имеется.

Трехслойная обшивка может быть выполнена относительно тонкой, но при условии, что пролеты между опорными контурами для шпелей будут уменьшены. Такими опорными контурами могут служить редко устанавливаемые мощные шпангоуты, кильсоны или те и другие одновременно. На построенных судах с корпусами, относящимися к типу наборных с трехслойной обшивкой, применяют, в основном, рамные шпангоуты.

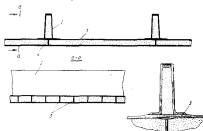


Рис. 30. Трехслойная обшивка с поперечным набором.

1 — верхний (наружный) слой обшивки; 2 — рамный шпангоут; 3 — промежуточный армирующий ребро; 4 — нижний армирующий ребро; 5 — стволчатый армирующий слой обшивки над рамным шпангоутом.

На рис. 30 и 31 показаны две различные конструктивные схемы наборной трехслойной обшивки с армированным заполнителем. В первой схеме шпангоуты приформованы к внутреннему верхнему силовому слою и их можно рассматривать как самостоятельные элементы корпуса, служащие опорными контурами для обшивки. Во второй схеме шпангоуты как бы органически входят в конструкцию трехслойной обшивки с непосредственным креплением к ее внешнему слою.

На первый взгляд кажется, что второй вариант является монолитной конструкцией. Однако с точки зрения работоспособности на изгиб он значительно уступает первому.

Главный рабочий элемент обшивки (один слой) оказывается разрезанным на шпангоутах и крепится к их боковым стенкам приформованными угольниками (или частично заформовывается на шпангоут), плохо работающими на отрыв. При изгибе панель и рас-

тканни верхнего слоя преформовочные угольники начнут отслаиваться и верхний слой выключится из работы. Некоторой компенсации нарушения целостности верхнего слоя можно добиться за счет

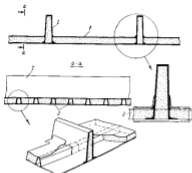


Рис. 31. Трехслойная обшивка с поперечным набором.

1 — первый (структурный) слой обшивки; 2 — внутренний слой обшивки; 3 — транзитные уголки армирования ребра.

усиления стенок армирующих ребер в районе их прохода через шпангоуты, но полностью этот недостаток устранить трудно. Поэтому можно отметить, что второй вариант конструкции трехслойной обшивки с набором хуже первого варианта.

ГЛАВА 3.

КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА СУДОВ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В главе приведены конструктивные особенности ряда судов из стеклопластика, построенных в Советском Союзе и за рубежом за последние 15—20 лет. Отражены достоинства и недостатки конструкций, а также тенденции развития пластмассового судостроения в зависимости от уровня теории проектирования и расчета стеклопластиковых конструкций и накопленного опыта эксплуатации.

§ 12. СУДА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПОСТРОЙКИ

Основными характеристиками конструктивных особенностей некоторых типов пластмассовых судов отечественной постройки приведены в табл. 9 и 10. В число рассмотренных судов входят мелкие суда — шлюпки, прогулочные лодки и катера длиной от 3,5 до 6 м, суда длиной 6,0—8,5 и 12—17 м и одно из самых крупных пластмассовых судов — речной пассажирский теплоход на 65 человек длиной 24,5 м.

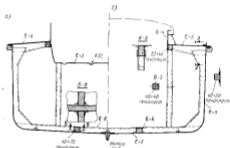


Рис. 32. Грузовой речной теплоход грузоподъемностью 15 м (поперечные сечения): а — в районе рулевой рубки; б — в районе грузового трапа.

По конструктивным особенностям построенные суда весьма разнообразны (рис. 32, 33), что свидетельствует о широких конструктивно-технологических возможностях пластмассового судостроения. Однако конструкции стеклопластиковых судов еще нельзя считать установившимися.

Можно выделить определенные группы судов, обладающих общими конструктивными признаками, и по ним судить о наиболее типичных конструкциях, используемых в отечественном пластмассовом судостроении, о тенденциях его развития.

Опыт отечественного пластмассового судостроения показывает, что основным конструктивным вариантом является корпус с однослойной обшивкой. Корпуса длиной 6—8 м выполнены с минимальным набором или безнаборным, а корпуса большей длины — наборными, в основном, с поперечной системой набора.

Основные характеристики некоторых пластмассовых изделий

Наименование судна, веста и год постройки	Габариты размером ДхШхМ, м	Вместимость, тп.	Конструкция корпуса	Толщина обшивки, мм
Шхота специализированной серийной постройки, 1958—1959	3,5х1,4х0,5	7	Безлинейный, трехслойный с армированием ламинатом	Наружная обшивка — 3—4; внутренняя — 2
Пассажирский катер, 1958	7,5х1,8х0,92	12	Полнотермопластичный, однослойный с внутренней системой набора; шпангоуты — 400 мм. Содействие застройки с корпусом алюминиевым	Днище и борты — 4
Противопожарный катер, 1958	6,1х1,95х0,8	5	Обшивка трехслойная с армированием (ПХВ) ламинатом. Палуба однослойная	Наружный слой обшивки 2,5—3,5; внутренний слой обшивки — 1,3—1,6; палуба — 3. Толщина основного армирующего слоя — 10 мм
Речной прогулочный теплоход грузоподъемностью 15 тп., 1959	15,1х3,4х1,5	—	Однослойный термопластичный с внутренней системой набора; шпангоуты — 400 мм. Основная конструктивно-технологическая схема: корпус с профилированным набором, прощечная переборка, палуба с подстройкой, палуба.	Обшивка — 5; палуба в средней части — 6, в остальной — 3—4

Таблица 5

показатели и параметры судна отечественной постройки

Сфера набора	Материал	Вес, кг	Мощность двигателя, л. с.	Скорость хода, км/ч
Киль, транцевая (задняя) форма, подпалубный комплект палубы с наружной обшивкой	ПН-1; стеклопласт., ламинат, γ = 0,015 г/см ³	Корпус — 88	10 (двухтактный мотор)	11,5
Шпангоуты П-образной формы с обшивкой 4 × 3 мм и армированием ламинатом. Киль трехслойной формы	Полнотермопластичный, стеклопласт.	Корпус с подстройкой без обшивки — 306	62	27
Фундаментные элементы (от палубы) трехслойного шпангоута до транца. Двухслойная обшивка из стеклопластика и пенопласта (внутренняя) и наружная обшивка связана между собой ламинатом шпангоутами и кильблоками	ПН-1 АСТ (γ)			
Киль, обшивочный элемент с обшивкой, комбинированной конструкцией. Формы и шпангоуты корабельного назначения с пенопластовым армированием. Подпалубный комплект переборки с пенопластовым армированием, переборка из фанеры	ПН-1; стеклопластик, ламинат (подстройка, палуба)	Корпус — 1300	62	15

Наименование судна, место и год постройки	Главные размеры Л.С.В.К.Н. и	Вместимость, чел.	Конструкция корпуса	Тоннаж, обшивка, ял	Скала набора	Материал	Воз. ял	Продольная деформация, д. с.	Скорость хода, км/ч
Противолодочный катер: верфь им. С. М. Кирова (Астрахань); 1960	4,80x1,80x0,810	4	Одностоебный с двойными бортовыми, с минимальными наборами. Две вертикальные переборки	Длина — 5; борта — 4; палуба — 3	Жесткость бортовой обшивки обеспечивается двумя продольными шпангоутами и двумя вертикальными шпангоутами и двойными бортами. По длине — кустовый катер срезной килей, трансверсальной формы и четыре стелжи дельцевого конструктивного назначения, расположенные от носовой до кормовой переборки	Полуферrous смолы; стеклопластик	Перекладины около 700	38; дельцевого АМ-407П	35
Противолодочный верфской катер СПК-19; 1961	5,01x1,91x0,77	5	Одностоебный с альфаформованной обшивкой, со смежной системой набора. Две поперечные переборки	Длина — 5; борта — 4; палуба — 3	Шпангоуты дельцевого, трансверсального сечения вместе с альфаформованными обшивочными (каркасными) альфаформованными к обшивке через 300 мм; шпангоуты в кормовой обшивке — 290 мм. Продольные шпангоуты — дельцевого строения и вертикальный шпангоут (исполн. 2) в кормовой части по длине судна. Имеет более высокий профиль, конструкция определяется по шпангоуту	Полуферrous смолы; стеклопластик; альфаформованный пластик и обшивка — из фанеры	Перекладины около 700	66; дельцевого ВК-21А «Волга»	42
Рабочая судна класса «Благодарность» серийной постройки; 1961	4,75x1,56x0,565	—	Полуферrous одностоебный обшивка, максимальный поперечный набор. Полуобная секция сформована вместе с балками	Длина в бортах — 3,2	В средней части трансформовано три шпангоута трансверсального сечения без альфаформовки. Одна дельцевого и два ступенчатого	Скала ПН-3; стеклопластик ТЖС-0,7; стеклопластик АСТТ (9-С ₁ -0 и С2)	Перекладины 180	Предусмотрены условия использования мотора мощностью до 12 л. с.	—

Назначение судна, место в фиде постройки	Главные размеры Д, Х, В, м	Эндритовое, кот.	Конструкция корпуса	Тональность обшивки, мм	Схема набора	Материал	Воз. до	Мощность двигателя, л. с.	Скорость хода, км/ч
Прогонный катер МК-31; 1961	4,11×1,5×0,57	4	Цельноформованный оконечный корпус с вертикальными набором. Килеватое днище имеет восемь продольных углублений	Днище — 2,7; борты — 2,4; валуза — 2,4	Вертикальный киль от 2 до 6 дециметров толщиной по длине корпуса. Носовая валуза изогнутого дуги Давидова. Жесткость обшивки обеспечивается продольными углублениями, стенками носового изогнутого килевого выреза, переборками диванами	Стекло ПН-3; АСТУ (В, С, G); ТЖС-6,85	Корпус — 100; переборки с диванами, топливным и аккумулятор — 200	10; двигатель «Мотор»	с одним цилиндром — 32; с четырьмя цилиндрами — 17; три килевого выреза с четырьмя килевыми — 32
Катер гидроподъемника; 1962	0,34×1,87×0,7	3	Окнечный с цельноформованной обшивкой с вертикальным набором	Обшивка — 5; валуза и рубка — 3	Жесткость обшивки обеспечивается вертикальными переборками, стенками бачка-рудушки, деформация рудушек, вертикальными килем	Полэфирные смолы марки ПН-1; стеклопластик марки АСТУ (В, С, G) для наружных слоев обшивки; эпоксидная (эпоксидно-эфирная) — внутренний слой	Переборки около 400	6; двигатель СН-25001	11,5
Речной пассажирский теплоход Московский судостроительный и судоремонтный завод МРФ; 1962	24,0×3,7×1,3	65; 160; кил — 2	Окнечный, цельноформованный с вертикальной обшивкой корпус от 400 до 600 мм. Основание корпуса с трансформированным набором, изогнутой переборкой; носовая валуза с частью надстройки; надстройка пассажирского	Обшивка — 6; в рубке киле — 10; переборки часть — 8; валуза в оконечности — 5; перегородки — 10	Формы и технологии изготовления корпуса, вертикальный киль и боковые килевые изогнутые килевые, с вертикальными переборками. Неразъемные продольные переборки по длине корпуса; боковые переборки. Вертикальный киль трансформированный профиль.	ПН-3; смолы: эпоксидная ПН-1; эпоксидная, малотоксичная смола ПНТС-1; АСТУ (В, С, G); АСТУ (В, С, G); АСТУ (В, С, G); стеклоткань	Глизи корпус с надстройкой — 10 400	150; двигатель ЗТФ	21

1. Назначение судна, места и год постройки	2. Размеры (д, ш, в), м	3. Плотность, т/м ³	4. Классификация корпуса	5. Запасы обшивки, мм	6. Сроки набора	7. Материал	8. Вес, кг	9. Мощность двигателя, л. с.	10. Скорость хода, км/ч
			Жерского славя с полойкой; средние в корпусе пазубы; вертикальные стропила (кап); ровная рубка		оперформанной вместе с обшивкой				
Рыбачий теплоход 1962	14,8 × 3,0 × 1,4	46; макс. — 2	Однослойный с поперечной системой набора; пазубки — 320 мм	Обшивка — 8	По длине — фанера (калефут) шпунтового профиля высотой 450 мм и легкое поперечное сечение, корабельный шпал в пазубках. По бортам — легкое калефуты	ПН-1; стекло-ротонна, стекло-ткань	Вес корпуса — 7100	2 × 70	22
Рыбачий теплоход «Креветка», серия строится с 1963 г.	3,07 × 1,28 × 1,4,5	3	Цельноформанной, однослойный, безбортовой с поперечными пазубками — безпалубы	Обшивка — 3; воздушные пазубки — 2,4	Обшивка продольные спицы; фанерный шпал и стекло-ротонна; бокового профиля, выключены молотки с корпусом. Жесткость обшивки обеспечивается стеклом-ротонна и корабельным шпалом	ПН-1; АСТТ 49	Корпус — 60; обшивки — 75	Подвесной мотор «Страло»	10
Воздушный катер для верного хозяйства	8,88 × 2,56 × 1,10	Грузоподъемность 500 кг; макс. — 2	Однослойный с цельноформанной обшивкой с минимальным набором	Борт — 6; днище — 8; пазубки — 3	Три кильбота Г-образной формы в грузовой транее и моторной отделении. Жесткость днища достигается обшивкой стеклом-ротонна, пазубки — стекло-ротонна		—	Двигатель ЗИЛ-375 (двухцилиндровый)	37

Наименование судна, место и год постройки	Главные размеры Д, В, М, м	Вместимость, тал.	Конструкция корпуса	Толщина обшивки, мм	Сила набора	Материал	Воз. кп	Мощность двигателя, л. с.	Скорость хода, км/ч
Лодка «Кафо», серийно строится с 1965 г.	4,20 x 1,50 x 0,6	5	Цельноформованный, однослойный с продольными ребрами по донцу и уступом по бортам	Борт — 3; днище — 5	Продольная жесткость обеспечивается наличием донца, донца гофрима по донцу и уступами по бортам. Поверхность — полиуретановая и коррозийная палуба и баки	ПН-3; ХХК-1,0-Г-II	Поролоном по спариванию — около 150	10; двигатель «Москво»	15 в полном грузу
Прогруженно-размещенный катер с джукризовальной формой донца. Горьковский заводский актипут, 1965	5,64 x 1,80 x 0,9	6	Однослойный с поперечной системой набора. Основные элементы: донца, борта, палуба, переборки	Донца — 4 (в ЖИВ); борта — 3; переборки — 2; носовая палуба — 2,5	По донцу — Г-образные фанеры шири 0,5 м; по бортам — гофрима черн. фанера. Две фанерные балки переборки и кильсона фанерной переборки и кильсон на продольные трек донца. По бортам — носовый корабельный стрелкер	ПН-3; акустическая сталь, алюминий АСТТ Ю-С ₂ О (каркасный корпус)	Корпус с обшивкой — 375; катер поролоном — 810	62	42
Прогруженно-размещенный катер, 1966	6,57 x 2,14 x 0,92	6	Однослойный с поперечной системой набора. Основные цельноформованные элементы: обшивка (донца и борта), палуба, переборки, трек		Однородный материал Т-образного профиля. Борта выполнены из трек продольных гофрима, а донца — донца кильсона	ПН-3; стеклопластик	Корпус с обшивкой без обшивки установка — около 700	70; компрессионный двигатель МСМ4У.1	44
Прогруженная лодка «Нава», Дальний, 1966	2,80 x 1,28 x 0,45	3	Цельноформованный, однослойный скакельный, трехслойный (пустотный) с продольными уступами по бортам	Обшивка — 3; система водразрывных швов — 2	Продольная жесткость обеспечивается наличием уступа по бортам, кильсона. Поверхность — полиуретановая и полиуретановая (в носу и корме) и баки	Сила НПС 605-22М; акустическая сталь; ТЖС-0,4 в СТТЗ-6	Корпус — 47	10	35 с трек трос-марше

Наименование глав. вето и тип постройки	Главные размеры Д, В, М, м	Колес- ность, кол.	Конструкция корпуса	Толщина обшивки, мм	Сила набора	Материал	Вес, кг	Мощность двигателя, л. с.	Скорость хода, км/ч
Судовые мотор- ные рабочие катера на ШРМП-3,5; 1966	6,0×1,50×0,85	8	Безкаборный; трехслойный по бортам и в окон- ченности с лако- облицовкой по- верхности само- эквивалентной тепловыделению. В средней части по длине однослойный с фигурной и фре- заминой над двигателем.	Обшивка по- верхности — 4; внутренняя — 3	Каль трапецие- видной формы. Фигурная и фигур- ная бабка трапециевидного бруса с трапе- циевидным аппендиксом	ПН-3; АСТТ 40-С, О; стенопласт; ПУ-3	Шахтное по- рокишило с ди- вигателем и сваб- ством — около 1300	23, двигатель 4ЧСП 8,5/11	6,7 узла
Продольная лодка «Аракан»; 1967	5,02×1,98×0,6	—	Однослойный с продольной системой набора. Состоит в осн.- ном из двух сидель, бортов и калузы.	Длиной — 3; борта — 2,5; ка- лузы — 2,5	По длине — плоские трапецие- видной формы с закруглен- ным на концах; киль ко- робчатой формы с дорезанным аппендиксом; фигурная (весом 500 кг) по бортам. По бортам — два трапе- циевидных от трюма до киля. По калузе — продольные фигурные, линейные, фигурные, фигурные	ПН-3; АСТТ 40-С, О; стенопласт; ССТ3-6	Корпус — 140	Двигатель «Ветра»	34 с четырьмя постями нагрузки
Моторная лод- ка катмаране- вого типа «Сам- бур»; 1964	3,56×1,50×0,52	3	Центрофрезо- слоный, одно- слойный, без- каборный с лако- облицовкой по- верхности тепловыделением		Полерешка, костыль, кил- трус — обшива- ются тремя де- ревянными ба- бками	ПН-3; стено- пласт; стено- пластик	Корпус — 72	10, двигатель	30

Основные характеристики некоторых рыбопромысловых

дальниххода судна отечественной постройки

Наименование судна, год постройки	Габариты (длина \times ширина \times высота), м	Двигатель, мощность, л.с.	Конструкция корпуса	Тоннажа (общая), т	Сила тяги	Материал	Вес, т	Мощность двигателя, л.с.	Средняя скорость, узлы
Масло судно рыбопромысловое для внутренних водоемов и прибрежного морского промысла; 1952	7,5 \times 1,99 \times 0,72	2; 890	* Однослойный, безбаллерный. Основные осадки: корпус, переборки, палубы (козлацкие и рыбные), палуба, носовая обшивка рубки. Рубка и корпус крепятся баллами	Общая — 6; палуба — 4	Брусковый якорь с лопастями, крепящимися от середины до 9 диаметра. Жесткость обшивки обеспечивается переборками, перегородками, стеньгами, воздушными и рыбными якорями	ПН-1; стекло-розовый; АСТТ (9) С ₁ -О; фанера ФСФ	—	10; дизельный мотор	6,2
Сетевая моторная лодка (близкая для ловли рыбы стальной заводской по внутренним водоемам); Строительная фирма; Ленинград; 1964	8,5 \times 1,9 \times 0,76	3; 1200	Однослойный с минимальным набором. Основные осадки: корпус, переборки, стеньги, палубы (козлацкие и рыбные), палуба, кормовые рубки	Общая — 5; палуба и рубка — 4	Норужный брусковый якорь (от середины к корме), переборки и палубы, в две бортовых (для фидера). Кили выполнены с заделкой на полукруглой форме. Делается в металлической отливке. Для фидера в районе 4 и 5 диаметра Г-образной формы	НБК 689-21; АСТТ (9) С ₁ -О; стекло-розовый	—	12; газодизельный мотор	Около 6
Вертлюжий промысловый бот «Полемид» для ловли рыбы в открытом море и Атлантическом и Тихом океанах (с баллоном); 1964	8,5 \times 2,8 \times 1,10	3; 2000	Однослойный, безбаллерный, монолитно-сформованный	Общая — 7 (у форштевень — 12); стеньги, балки, шпарты — 6; палубы — 5	Брусковый якорь. Жесткость обшивки обеспечивается стеньгами, балками, воздушными якорями, переборками	ПН-3; АСТТ (9) С ₁ -О; ТЖС-0,85; ССТ-6; трансформированная конструкция — 3,1-3	—	20; двигатель 49С18,5/11	6,3
Рыбопромысловый бот для прибрежного морского промысла (двигатель и сетевая); 1964	12,7 \times 3,16 \times 1,31	5; 2500 (дизель)	Однослойный, альюминиевый с минимальным набором. Основные осадки: корпус с преформированными конструктивными элементами, главные палубы, палуба подпалубы с рубкой	Длина — 10—12; борта — 8—10 (в районе ВЛ); ледовое усиление — 14; главные палубы — 6—5; подпалубы — 5; стеньги и кормовые рубки — 4—5; переборки — 6	Жесткость и прочность обшивки обеспечиваются монолитными переборками, стеньгами и дюралюминиевыми воздушными балками, дюралюминиевыми балками и т. п.	ПН-1; ПН-3; АСТТ (9) С ₁ -О; ТЖС-0,85; ССТ-6	Водоизмещение 10,8	50; двигатель СМЛ-15К в судовой камере	8

Назначение судна, год постройки	Главные размеры Д х В х М, м	Формы чел., грузоподъемная способность, кг	Конструкция корпуса	Толщина обшивки, мм
Рабочий ледовый судно «Навигатор», 1965	17,0 х 5,25 х 2,60	5	Обшивкой с окрестной системой набора; палубы — 500 мм. Обшивка корпуса изготовлена из двух симметричных слоев, соединенных по ДП	Декор — 10; борт — 8; шпангоуты — 10; палубный стретер — 15

Конструктивные варианты с трехслойной обшивкой весьма ограничены распространены в основном при изготовлении спасательных шлюпок. В этом случае легко удовлетворяется одно из главных требований, предъявляемых к шлюпкам, — непотопляемость.

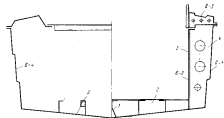


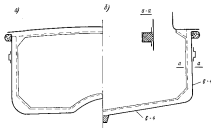
Рис. 23. Конструктивная схема поперечной секции корпуса прогулочного катера длиной 4,85 м.

1 — пол; 2 — продольный ребро; 3 — поперечный борт; 4 — диафрагма бортового воздушного канала (в районе пассажирского отсека); 5 — фидельный канал.

Дело в том, что трехслойная обшивка корпуса имеет, как говорилось выше, недостатки: неудовлетворительные физико-механические качества заполнителя; трудность контроля за качеством склеивания заполнителя с несущими слоями и пр.

Система набора	Материал	Воз. м	Мощность двигателя, л. с.	Скорость, узлы
Формы, шпангоуты, бимсы, палубы и перегородки — ударного сечения	ПН-3; НК-209-21; АСТТ (Н-С ₂ -О); контейнеры для хранения рыбы из ЭД-5; АСТТ (Н) — пластик	Персонал 47; вес пассажиров в составе корпуса — 13	2х 30	10,5

Однако использование трехслойной конструкции позволяет добиться более высокой жесткости, что важно для стеклопластика, для удешевления технологической оснастки за счет использования упрощенных резных шаблонов и обеспечения гладкой безбор-



Поэтому необходимо опытно-поисковые работы и постройка экспериментальных судов для накопления отечественного опыта эксплуатации судов с трехслойной обшивкой.

Трехслойная конструкция корпуса выполнялась при постройке прогулочного катера длиной 6 м, а также на ряде лодок и катеров любительской постройки (рис. 34 и 35).

Однослойная обшивка большинства судов длиной до 16 м выполняется монолитно. Секциями изготовлены палуба, переборки, лека-

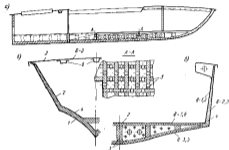


Рис. 36. Конструктивная схема трехслойного разъемного катера трехслойной конструкции: а — продольное сечение до ДП; б — сечение в носовой части; в — поперечное сечение на миделе.

1 — наружная обшивка; 2 — внутренняя обшивка; 3 — кассета килуба; 4 — наполнитель из вспененного полиуретана (ППУ); 5 — монтажные поперечные и продольные ребра из стеклопластика; 6 — продольное ребро палубы; 7 — палуба.

торы конструкции». Балки набора, как правило, изготавливаются отдельно от обшивки и затем к ней приформовываются сморщив угольниками. Однако встречаются суда, у которых набор оформован монолитно с обшивкой. Примером такой конструкции является катер «ПК-19» (рис. 36).

Первоначально формовалась обшивка до толщины 3,5 мм. Затем устанавливался П-образные шпалотунные оформители (из алюминиевой фольги) и на них наформовывался стеклопластик толщиной 1,5 мм. После этого до верха профилей укладывался слой ровницы. Дальнейшую наформовку слоев стеклопластика производили одновременно на обшивку (до толщины 5 мм по дну и 4 мм — по борту) и на профили. Такая конструкция обшивки и набора имеет существенный недостаток: в районе внутренних углов прилегания оформителя к об-

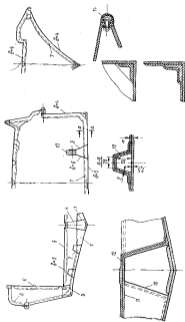


Рис. 38. Катер «ПК-19» (поперечное сечение и узлы).

1 — продольный вал; 2 — палубная структура; 3 — формовочный валик; 4 — лерсонный ступень; 5 — слани; 6 — шпангоут; 7 — шпангоут; 8 — шпангоут; 9 — шпангоут; 10 — шпангоут; 11 — шпангоут; 12 — шпангоут; 13 — шпангоут; 14 — шпангоут.

шине возникает ее расслоение, что снижает работоспособность всей днищевой панели (см. гл. 2).

Форма профиля элементов набора из малых и средних судак длиной до 16 м — коробчатая (пустотелая или с закладными) и однослойная Г-образная (рис. 37). Суда более крупных размеров имеют сварной набор (рис. 38).

Система набора корпуса в большинстве случаев поперечная. Исключение составляет прогулочная лодка «Аралин» (рис. 39), имеющая продольную систему набора, и катер «ПК-19», набор которого выполнен по смешанной системе.

К судам с поперечной системой набора можно отнести катер (рис. 40), спроектированный и построенный в Горьковском политехническом институте (ГПИ).

В качестве армирующего материала обшивки на судостроительных судах использованы стеклоткань (марка АСТТ (6)-С₂О), стекловолоконная (жгутовая ткань) с одним-двумя наружными слоями из ткани АСТТ (6)-С₂О или стеклосетка СЗ. На некоторых серийных шлюпках в качестве основного армирующего материала используют стеклоткань и жгутовую ткань как наиболее дешевые и технологичные материалы.

Ситановые ткани рекомендуется использовать для наружных слоев, а весь набор толщиной обшивки — из АСТТ (6)-С₂О в случае изготовления корпусов длиной более 25 м или же корпусов меньших размеров, но нагруженных по условиям внешних нагрузок.

По мере роста длины пластмассовых судов обеспечивать необходимую продольную прочность и жесткости их корпусов — все более сложная техническая задача. Это приводит к увеличению относительного веса корпусов и повышает строительную стоимость.

Усложняется монолитный способ изготовления, а выполнение корпусов из секций требует решения дополнительных конструктивно-технологических проблем.

Появление пластмассовых судов, превосходящих по своим размерам построенные суда, представляет интерес, поскольку их можно рассматривать как новый шаг в развитии пластмассового судостроения.

Поэтому заслуживает внимания речное пассажирское судно на 65 пассажиров, построенное по проекту Центрального научно-конструкторского бюро МРФ на Московском судостроительном и судоремонтном заводе МРФ в 1962 г. (см. рис. 38).

Теплоход относится к разряду «ль Речного Регистра РСФСР.

Перед конструкторами стояла серьезная задача, связанная с обеспечением поперечной и продольной жесткости и обусловленная размерами и архитектурными особенностями судна.

При разработке проекта были испытаны балочные конструкции и несколько вариантов дельтовых секций в натуральную величину длиной около 1 м. Это позволило найти наиболее правильные конструктивные решения.

По сравнению с металлическим вариантом пластмассовый теплоход на 10 м оказался легче, что позволяло уменьшить коэффициент

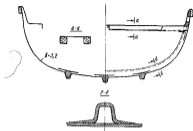


Рис. 37. Шпангоут «Тельма» (схема поперечного сечения).

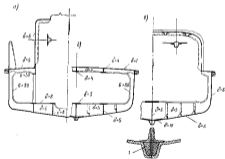


Рис. 38. Пассажирский речной теплоход на 65 мест (поперечные сечения): а — в районе малейшего сужения (около 40 см.); б — в районе наибольшего пролета (около 32 см.); в — в районе пассажирского салона (6—30 см.).

1 — отходы отливки из смолы.

обойей полноты судна, сделать обводы более плавными и за счет этого увеличить скорость хода более чем на 20%.

Из-за опасения, что подводная часть теплохода будет истираться при эксплуатации на мелководных фарватерах, толщина обшивки в районе киля и толщина самого киля была принята равной 10 мм.

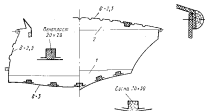


Рис. 38. Прогночная лодка «Аравия».

1 — фюр босса $\delta = 15$ мм; 2 — бревн босса $\delta = 15$ мм.

Опыт эксплуатации показал, что динцевая часть практически не истирается (кроме района у гребного вала). Натурные испытания прочности показали, что напряжения в свихл корпуса от общего загиба и местных нагрузок значительно ниже допустимых.

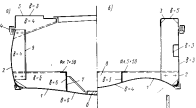


Рис. 40. Прогночно-различной шпангоут ГПН (поперечные сечения): а — в районе моторного отделения (вспомогательная часть); б — пассажирской каюты (средняя часть).

1 — дельта; 2 — форш; 3 — киль; 4 — килевый бортовой стрингер; 5 — металлический фальшкиль; 6 — дельтовый структурный киль (троем и килевый стрингер); 7 — фундаментный киль; 8 — фюр; 9 — бортовой стрингер.

Интересный пример конструкции мидель-шпангоута показан на рис. 41.

Дальнейшим развитием отечественного пластмассового судостроения явилась постройка судов типа «Надежда»* (см. табл. 10). Эти суда предназначены для зона рыбы и доставки рыбы-сырца на плавающую базу «Восток». При переходах в район промысла и обратно суда «Надежда» (рис. 42) размещаются на борту плавающей базы.

Обводы корпуса «Надежды» комбинированные: в носовой части — аркальные, в кормовой — остроносая. Поперечными пере-

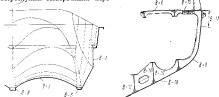


Рис. 41. Конструктивно-теоретическая схема корпуса прогночной лодки типа «Надежда».

Рис. 42. Конструкция схода аэродинамического обтекателя морского рыбодобывающего судна «Надежда».

борки в корпусе выделены форшк, жилой отсеки, машинное отделение, рыбный трюм и ахтердек. В рыбном трюме по бортам выделены топливные цистерны, а остальная часть его поперечной и продольной гофрированными переборками разделена на четыре отсека, где размещаются рыбные контейнеры общей вместимостью 10 м³. Контейнеры выполнены из стеклопластика на основе эпоксидной смолы и изолированы пенопластом.

Наружная обшивка имеет параллельно-диагональную структуру армирования (1/3; 1/3; 1/3). Палуба, в связи с наличием вырезок над машинным отделением и в районе контейнеров, в свихл уменьшенки концентрации напряжений, имеет квадратную по ширине структуру армирования.

Бортовые части палубы — параллельно-диагональной структуры, в треевля — диагональной. В районе палубных стрингеров уложены дополнительные слои стеклоткани, ориентированные осью вдоль корпуса. Поперечные переборки на 15, 29 и 30 шпангоутах имеют толщину 12 мм, а форшковая на 3 шпангоуте — 6 мм. Конструкция переборки заборная, с вертикальными стойками.

* Получила новое название «Восток-1», «Восток-2» и т. д.

Переборки на 15 и 29 шпангоутах имеют диагональную структуру армирования с учетом установки под этими переборками кильблоков при хвосте судов на палубе базы. В полостях форпиковой переборки и переборки на 39 шпангоуте заформованы стальные листы, к которым крепятся рымы для подъема и спуска судна с борта базы на воду. Многие подкрепления и фундаменты под различные механические оборудование вышлелены металлическими.

«Надежда-1» (см. рис. 42) имеет двухвальную силовую установку с двумя дизельми ЗД112 по 300 л. с. каждый, винты фиксированного шага в поворотной направляющей насадках.

«Надежда-2» оборудована одинаковой установкой с дизелем М-450 мощностью 800 л. с., винтом регулируемого шага в поворотной направляющей насадке и носовым подруливающим устройством.

Суда «Надежда» прошли всестороннее испытание в различных климатических условиях и показали себя с лучшей стороны.

§ 13.

СУДА ЗАРУБЕЖНОЙ ПОСТРОЙКИ

Основной продукцией зарубежного пластмассового судостроения являются разнообразные прогулочные, развлекательные, спортивные суда, рыбные и спасательные шлюпки и катера, различные промысловые суда длиной до 25 м и др.

Практика строительства и эксплуатации пластмассовых судов, по сравнению со стальными, выявила их основные преимущества: на 20—25% меньший вес корпуса, увеличение срока службы в 2 и более раз, снижение эксплуатационных расходов по уходу за судном.

Однако стоимость судов даже при серийном выпуске на 10—15% выше, чем стоимость постройки деревянных и стальных судов, что объясняется высокой ценой исходных материалов стеклопластика.

В связи с этим зарубежные фирмы, строящие пластмассовые суда, стремятся:

использовать наиболее дешевые стеклоармирующие материалы типа стекломатов (стеклохолстов) и стекловолокна;

организовать крупносерийное производство мелких судов из пластмассы с широкой механизацией технологического процесса постройки;

создавать специализированные верфи по выпуску серий пластмассовых судов с универсальными корпусами, что позволяло бы в одном корпусе (унифицированном) при соответствующем переоборудовании создавать рыболовное судно, развлекательный катер, подлазный бот, буксир и др.;

максимально уменьшить стоимость матриц при единичной постройке судов, выложив их обочку из деревянного каркаса, обшитого фанерой с покрытием рабочей поверхности автомобильными эмалями.

При постройке катеров длиной более 7 м и судов размером до 25 м используют в основном контактный способ формования в матрицах

или на пуансонах. При этом в большом объеме пока привлекают ручной труд.

Рекомендуемые показатели физико-механических свойств, которыми должны обладать стеклопластики, используемые при постройке корпусов в США, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Характеристики стеклопластиков, рекомендуемых в США для постройки судовых корпусов

Характеристики	Стеклоармирующий материал		
	рубрики стеклопластик	стеклоармирующий материал в стекло-пластике (по весу)	стекловолокно (по весу)
Содержание стекла по весу, %	25—30	30—40	40—55
Плотность, г/см ³	1,40—1,50	1,50—1,65	1,25—1,40
Предел прочности, кг/см ²			
при изгибе	1500—1700	1700—2100	2100—2400
» растяжении	780—1050	1250—1700	1350—2250
» сжатии	1200—1500	1200—1500	1200—1550
при сдвиге в плоскости листа	700—900	780—1000	900—1000
при сдвиге в плоскости листа	700—850	650—850	550—800
Модуль сжатывающей упругости, кг/см ²			
при изгибе	0,5—0,61 · 10 ⁹	0,6—1,03 · 10 ⁹	(1,15—1,52) · 10 ⁹
» растяжении	0,65—0,91 · 10 ⁹	0,7—1,0 · 10 ⁹	(1,05—1,42) · 10 ⁹
» сжатии	0,65—0,91 · 10 ⁹	0,7—1,0 · 10 ⁹	(1,25—1,70) · 10 ⁹
Модуль сдвига, кг/см ²	0,28 · 10 ⁹	0,22 · 10 ⁹	0,35 · 10 ⁹

Конструкция корпусов пластмассовых судов зарубежной постройки отличается разнообразием по размерам, условиям эксплуатации и способам постройки.

Небольшые шлюпки и катера прогулочного типа вышлелют чаще как однослойные безбарьерные или с минимальным набором. Жесткость корпуса, особенно у глассерированных катеров, обеспечивается формой корпуса, сочетающейся с требованием обеспечения мореходности и гидродинамических качеств, и предусмотренными специально для этой цели продольными гофрами по днуду и бортам. Использование продольных гофров и уступов по обшивке, обеспечивающих конструктивную жесткость корпуса и уменьшающих трудоемкие работы по приформовке набора, — характерная особенность многих судов зарубежной постройки (мелких, средних и крупных).

Судовые рабочие и спасательные вышки и рыболовные лодки часто изготавливают трехслойными, что обеспечивает их непотопляемость и гнущивость краевой лава.

Пластмассовые суда длиной 9—13 м, как правило, имеют однослойную конструкцию с конечной системой набора. В качестве наборных связей используются балки П-образного или полукруглого профиля, формируемые непосредственно в корпусе на пенопластовых формах-сердечниках или фольтовых оформителках.

Такое конструктивно-технологическое решение изготовления набора позволяет избежать подгонных работ.

Суда с набором корпуса из сварных профилей строят редко. Иностранцы ссаздалкты признают, что такие профили имеют преимущества перед корабельными, однако более трудоемки в изготовлении и требуют больших расходов на оснастку. Поэтому их применение считается целесообразным лишь при крупносерийном производстве.

На судах длиной 14—15 м и более однослойные корпуса часто имеют продольную систему набора из профилей П-образного или трапециевидного сечения. Подобную конструкцию, например, имеет польский разведочный катер М-156 (рис. 43), серийно строящийся с 1967 г. Это рейдово-портный катер длиной 14 м, шириной 3,82 м, высотой борта 1,7 м и осадкой 0,77 м. Материалы корпуса — полиэфирная смола, стекломат. Обшивка состоит из 6—8 слоев стекломата, а набор — из полых балок трапециевидного сечения.

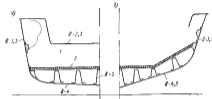
Аналогичная конструкция корпуса с продольной системой набора применяется и на судах меньших размеров, что можно объяснить стремлением конструкторов обеспечить продольную прочность и жесткость корпуса в условиях воздействия на него значительных динамических нагрузок, например, при больших скоростях хода на автоскользкой поверхности (спортивные катера, катки для океанских гонок и т. д.).

Примером может служить серийный быстроходный катер (рис. 44), широко распространенный в США. Его длина 5,8 м, скорость при двух подвесных моторах достигает до 50 л. с. составляет 38 узлов. Корпус имеет однослойную обшивку. Продольный набор состоит из неразрезных балок трапециевидного профиля, пустотелых по



Рис. 43. Конструктивный вид разведочного катера М-156 (ПНР).

дну и с пенопластовым заполнителем по бортам. Поперечная жесткость обеспечивается носовой и кормовой палубами, носовой переборкой и поперечным воздушным щитком. Армирующая структура основного стекломатистика (обшивки): один слой (внешний) стеклоткани, два-три слоя стекломата, один слой стеклорогожки. Структура



стекломатистика продольных балок набора — 4—6 слоев стекломата.

Подобную конструкцию имеет и ряд других небольших пластмассовых судов США (крейсерские яхты длиной 10 м, туристские катера длиной 8,9 м и др.).

Ряд судов длиной 10—15 м имеют трехслойную обшивку корпуса. В США, начиная с 1951 г., серийно строились десантно-высадочные суда LCVP (L — 11 м; В — 3 м; N — 220 л. с.; v = 12 узлов) с двухслойной обшивкой, зашитой плиточным полиэфирным пенопластом. С 1963 г. корпуса подобных десантных судов выполняют трехслойными с стоговым заполнителем. В 1967 г. в США для Канады построено три крейсерских траулера длиной 15 м с корпусами трехслойной конструкции.

Суда длиной более 15 м (табл. 12) выполняют в виде монолитной стекломатистиковой оболочки трехслойной конструкции.

Тенденция к увеличению размеров пластмассовых судов в зарубежном судостроении, наблюдаемая за последние годы, заставляет судостроителей и эксплуатантов внимательно изучать преимущества и недостатки двух принципиально различных конструктивных типов судов.

Спор между сторонниками трехслойных и однослойных конструкций пока не решен. Специалисты фирмы Maritime Industries, яв-



Рис. 44. Быстроходный катер с продольной системой набора (США): а, б — схема корпусных стенок; в — сечение по ДП.
1 — поперечная переборка; 2 — сечение продольной конструкции.

Таблица 12

Пластмассовые суда иностранной постройки
(длина более 10 м)

Тип судна, страна (фирма), год постройки	Наибольшая длина корпуса, м	Число палубных стоек	Стойкость конструкции корпуса
Малый траулер; США; 1955	17,5	1	Трехслойная обшивка листовым стеклопластиком. Корпус оформлен по выкладке
Патрульное судно типа «Альбатрос»; Англия (Hobbs & Lids); 1959 (построено для Португалии)	17,1	3	Однослойная обшивка. Поддержка системы набора. Балки кустовые. Подборный элемент. Основная толщина обшивки — 9,5 мм
Лодка-моторное судно типа «Альбатрос»; Голландия; 1959	23,4	2	Трехслойная обшивка с заполнителем из вспененного «Сорбала» толщиной 30 мм. Толщина наружной и внутренней обшивки — 6 мм. Редко использовались планки. Для выкладки
Десантное судно; США; 1963	16,0	14	Однослойная обшивка с набором
Траулер «Вестерн Дюпа»; 1965	20,5	1	Трехслойная обшивка общей толщиной 16 мм. Обшивка подкрепляла продольными и поперечными ребрами
Серебряный траулер типа «Гуайф»; 1965	22,5	30	Однослойная обшивка с поперечными набором и продольными ребрами
Траулер типа «Триумф»; США; 1967 (для Канады)	15,2	3	Трехслойная обшивка с поперечными продольными набором
Экспериментальное судно-пухляк; Швеция; 1967	15,0	1	Трехслойная обшивка корпуса
Рабочее судно с универсальным оборудованием; ПНР; 1968	19,8	7	Однослойная обшивка с продольной системой набора

находящейся шпангоут в области сальной постройки крупных промышленных пластмассовых судов, отрицательно относится к корпусам с трехслойной обшивкой. Они считают, что относительно малая толщина несущего слоя трехслойной обшивки недостаточна в тяжелых условиях рыбного промысла, когда обшивка подвергается ударам, воздействию стальных тросов и т. п. Кроме того, стоимость трехслойной конструкции (без учета оборудования) примерно на 15% выше однослойной.

Большой интерес представляют предпринятые исследовательские работы, проведенные в США по сравнительному сопоставлению пластмассовых судов с однослойной и трехслойной обшивками. Судостроители США первыми создали крупное судно с обшивкой трехслойной конструкции. Это малый траулер MSB-23, построенный в 1956 г. (рис. 45). Его длина — 17,5 м, ширина — 4,7 м, осадка — 1,2 м. Опыт эксплуатации траулера подтвердил преимущества использования стеклопластика как основного конструкционного материала корпуса. Однако в то же время выявились недостатки трехслойной обшивки: после многолетней эксплуатации в соевом наполнителе была обнаружена вода, хотя повреждение наружных слоев обшивки не обнаружилось. Прочитание воды в соевый наполнитель было замечено и на других судах с трехслойной обшивкой.

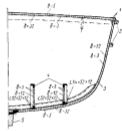


Рис. 45. Модель-эскиз траулера ВМС США длиной 17,5 м.

1 — обшивочный материал; 2 — стальной набор; 3 — стальной набор; 4 — фиброцементная балка; 5 — ось.

В 1962—1965 гг. секцией малого судостроения Управления кораблестроения США совместно с фирмой Gibbs & Cox были проведены наиболее рациональные конструктивные типа траулеров длиной 30—60 м. Конкретная цель исследования — разработка вариантов пластмассовых корпусов взамен строящихся деревянных траулеров подклассов MSL (рейдовый траулер), MSC (базовый траулер) и MSO (ворочный траулер), находящихся в составе ВМФ США (табл. 13).

Детальные проработки и всесторонний анализ широкого круга вопросов, связанных с проектированием конструкции корпуса, проводились для базового траулера MSC. Характеристики для других подклассов траулеров (MSL и MSO) были получены методом пересчета.

Траляшка США

Нормативные значения	Плавательные качества		
	редкий МСЛ	большой МСC	мелкий МСО
Главные размеры			
Длина между переделками, м	33,6	43,5	56,7
Ширина вальцовки, м	7,0	8,2	10,8
Высота борта, м	4,0	4,7	5,4
Водоизмещение палубы, т	229	372	969
Деформации и напряжения от общего штабля			
Момент изгиба поперечного сечения корпуса $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	15 980	19 070	114 650
Максимальные напряжения, $\text{кг}/\text{см}^2$:			
по ширине	44,6	98,8	81,4
по длине	53,6	121,1	97,7
Средняя прогиба корпуса, см	1,78	0,1	5,6

Рассмотрены следующие конструктивные варианты корпуса:

1. Однослойная обшивка с продольной системой корабчатых профилей с пенополиуретановым наполнителем.
2. Однослойная обшивка с поперечной системой набора.
3. Трехслойная обшивка с поперечным рамным набором по внутренней обшивке из корабчатых балок с наполнителем (длина — 2,4 м). Легкий наполнитель обшивки армирован продольно-поперечной системой балок для увеличения связи между слоями обшивки.
4. Однослойная обшивка с продольным и поперечным набором из алюминиевых профилей.
5. Трехслойная обшивка с пенопластовым наполнителем и набором из алюминиевых профилей.
6. Однослойная обшивка с продольно-поперечной системой набора. Поперечные связи из стеклопластика, продольные — из алюминия.
7. То же; продольные балки из стеклопластика, поперечные — из алюминия.
8. То же; поперечная система набора из алюминиевых профилей со шпальгой 360 мм.
9. Однослойная обшивка с продольно-поперечным набором из деревянных балок.

Одновременно с проектированием перечисленных вариантов корпусов траляшки проводилась проверка физико-механических свойств стеклопластиков различной структуры, испытание прочности клееных соединителей набора с обшивкой при статической и динамической

нагрузках, испытание гидростатическим давлением натурных перекрытий и другие исследования.

Анализ рассмотренных конструкций показал, что жесткость корпуса, уменьшающая стрелку его прогиба, значительно возрастает у 4, 6 и 9; удельная стоимость — у 1, 5 и 7 и неудовлетворительная — у 2, 3 и 8 вариантов. Неудовлетворительны по требованию жесткости корпуса 4, 5 и 8 вариантов. Сложно изготовить набор у 4, 7 и 9 вариантов.

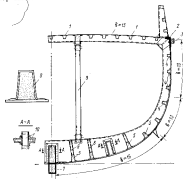


Рис. 46. Простой металл-обшивка траляшка МСC (США) с продольной системой набора.

1 — поперечные балки вальцовки набора; 2 — продольные балки; 3 — поперечные балки; 4 — вальцовка набора; 5 — продольные балки; 6 — вальцовка набора; 7 — корпус; 8 — продольные балки; 9 — поперечные балки; 10 — вальцовка набора.

Наибольшее число недостатков отмечено у 4, 5 и 9 вариантов. По мнению проектировщиков, наиболее перспективным является вариант 1.

Позже были разработаны конструктивные модель-шпангоуты траляшного профиля с наполнителем и без него в районе флора и переборок; расстояние между продольными балками — 450—700 мм; расстояние между рамными шпангоутами для МСЛ — 1,5 м, МСC — 1,2 м и МСО — 2,5 м; обшивка из стеклопластика — на основе полиэфирной смолы, армированной стекловолоком.

Сравнительные характеристики тразлеров длиной 33,5 м, изготовленных из различных материалов

Наименование характеристики	Материал обшивки			
	дерево	сталь	стеклопластик	
			обшивка обрешеткой	обшивка тразлером
Подводная поверхность, м	202	203	198	173
Воздух корпуса, м	120	120	71	75
Максимальное напряжение в смысле воздушного давления на 1 м ² (P _в), кг/см ²	12	154	55	37
Длина пролета K = $\frac{P_v}{P_h}$	26	27	21	21
Средняя плотность материала корпуса, тонн/м ³	38 300	32 900	79 100	117 700
Средняя плотность матрицы, тонн/м ³	—	—	85 000	60 000
Средняя плотность при срыве в судне, тонн/м ³	200 500	289 300	304 500	305 500

ванной стеклообшивкой, обеспечивающей достаточные механические качества стеклопластика и значительное снижение трудоемкости работ при формовании. При выборе типа конструкции корпуса специалисты фирмы пришли к выводу, что однослойная обшивка экономически целесообразна лишь для судов, имеющих длину не более 24 м. Этот вывод отличается от вывода американских судостроителей.

Корпус судна был запроектирован с трехслойной обшивкой с заполнителем из пустотелых стеклопластиковых блоков размером 150 × 150 × 75 мм (рис. 49), предложенных и запатентованных фирмой Bristol Aeroplane Plastics Ltd. Полностью замкнутые стеклопластиковые блоки образуют заполнитель мажоренчатой структуры, обладающей высокой физико-механическими качествами. Несмотря, что использование зоробых блоков в качестве заполнителя может повлечь за решение вопроса о выборе типа конструкции в пользу трехслойной обшивки, если будет разработана технология дешевого массового изготовления блоков. Практически получается не трехслойная, а двухслойная обшивка с внутренними перегородками и продольными зрорыстыми ребрами (двухслойные ребристые панели).

В соответствии с принятой конструкцией обшивки проектом предусмотрено монолитный способ изготовления корпуса в разборной трехслойной стальной матрице: формируется наружный слой ($\delta = 10,5$ мм); к нему эпоксидным компаундом приклеиваются блоки заполнителя; на них формируется внутренний слой обшивки; приформи-

руются заранее изготовленные П-образные рамные шангоуты, аэрационный киль, переборки и палубы.

Для проверки принятых в проекте конструктивных и технологических решений фирма изготовила опытный натурный отсек длиной 10,4 м и передала его научно-исследовательскому центру ВМФ для разнообразных статических испытаний.

Широкое развитие получило за рубежом строительство крупных пластмассовых рыболовных су-

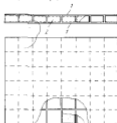


Рис. 49. Трехслойная панель с заполнителем из пустотелых стеклопластиковых блоков.

1 — обшивка наружная; 2 — блок заполнителя.

дов. Пионером оказалась упомянутая фирма Maritime Industries.

Начиная с 1959 г. фирма, накопив некоторый опыт в постройке судов длиной 9 м для промысла ангушта, приступила к постройке сначала двух тразлеров длиной 19 м, а затем еще двух тразлеров длиной 22,5 м («Блаогром» и «Покши 3М»). С 1966 г. фирма берет серьезную постройку двух тразлеров длиной 22,5 и 25,4 м.

Тразлеры длиной 22,5 м (головное судно «Гуифи», рис. 50) имеют оригинальную конструкцию. Монолитно сформованная обшивка выполнена с продольными гофрами трапецеидального сечения, обращенными внутрь корпуса. На днище восемь гофров, по бортам — по три. Гофры являются продольными балками жесткости. Шангоуты поставлены через 900 мм в машинном отделении и через 2000 мм — в трюме.

Палуба забрана по поперечной системе со шпангоутами 680 мм в сред-

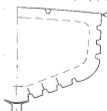


Рис. 50. Конструктивная схема поперечного сечения серийного тразлера «Гуифи» (сечение составлено по обшивке и обрешетке).

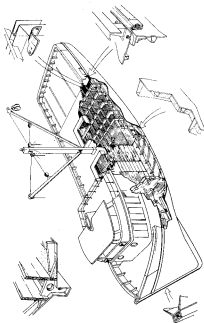


Рис. 61. Рабочий чертеж «Дельта-93» водоизмещением 300 т.

ней части в 460 мм — в оконечностях. Бимсы трапециевидного сечения в районе рыбного трюма имеют размер 180 × 90, а в остальном районе 155 × 75 мм. Для увеличения жесткости гофры к ним приформованы вертикальные плоскости.

Киль выполнен в виде корытчатой балки призматического сечения, монолитно сформованной с обшивкой. По-видимому, киль заполнен отходами стеклопластика или другим наполнителем.

По данным печати, можно судить, что гофры не увеличили сопротивления движению судна и в некоторой мере влияют на устойчивость качки. Примерные гофрированные конструкции обшивки резко снизили трудоемкость изготовления корпуса и несомненно являются шагом вперед с экономической точки зрения.

В 1968 г. фирма разработала проект и приступила к строительству траулера длиной 45 м.

Большая подготовительная работа по постройке серийных пластмассовых рыболовных траулеров проведена в Голландии. В 1968—1969 гг. разработан проект траулера длиной 21,4 м, а также проект верфи для серийной постройки 50 траулеров в год. С целью снижения стоимости постройки предусмотрен наиболее дешевый и производительный способ — применение рубленого стекловолокна полуавтоматическими установками.

Серийная постройка пластмассовых рыболовных траулеров типа ТРТ-18-РФ ведется на верфи «Устка» (ДНР). В 1968 г. был построен головной траулер, а в 1969 г. — построены 2 судна.

Проект разработан научно-исследовательским центром судостроения Гданьского политехнического института под руководством профессора Ежж Дирффера. Серийный польский траулер с кормовым тралением имеет следующие главные размеры: длина — 19,7 м, ширина — 5,7 м, высота борта — 2,9 м, осадка средины — 2,15 м, дедвейт — 33 т. Размеры прочных элементов корпуса приняты в соответствии с «Временными правилами использования армированных пластиков для рыболовных судов» (1965 г.) Английского Ллойд.

Работы по подготовке серийной постройки крупнотоннажных рыболовных судов получили широкий размах в США. Этим занимается ряд таких фирм, которые имеют богатый опыт проектирования и постройки многих типов относительно крупных судов.

Фирма Dupont & Co. of America по заказу Перу разработала в ноябре 1968 г. проект пластмассового сейнера длиной 28,4 м. Водоизмещение этого сейнера, получившего название «Дельта-93» (рис. 51),

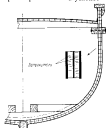


Рис. 52. Криволинейный траулер «Бит Цр»

составляет 500 м. В 1969 г. таких сейнеров предполагалось построить 30. Печать сообщает, что эта фирма планирует постройку на перуанских верфях судов типа «Дельта-120» водоизмещением 700 м с емкостью трюмов на 500 т рыбы.

Из судов, эксплуатируемых в составе американского промышленного флота, представляет интерес креветочный траулер «Бент Ира» (рис. 52). Его главные размерения: длина наибольшая — 22 м, ширина — 6,25 м, высота борта — 3,65 м, осадка — 2,05 м.

Траулер имеет комбинированный корпус: трехслойную обшивку с балластом наполнителем; днищевой набор (по борту отсутствует) — деревянный, палуба — деревянная, оклеенная стеклопластиком. Ширина — 400 мм. Сидловые слои обшивки выполнены из стеклопластика на основе стекловолокна (8 слоев) и стеклокоротки (8 слоев).

§ 14. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ О СОСТОЯНИИ И РАЗВИТИИ ПЛАСТМАССОВОГО СУДОСТРОЕНИЯ

Приведенные выше данные, характеризующие развитие пластмассового судостроения в СССР и за рубежом, позволяют сделать следующие выводы:

1. Стеклопластики нашли широкое распространение в малотоннажном судостроении (включая суда военно-морские и рыбопромысловые длиной до 25 м). Начиная с 1968 г. широкое развитие получило строительство промысловых судов. Для выявления возможности постройки более крупных пластмассовых судов проводится широкая проектно-исследовательские работы.

2. Основным материалом пластмассовых судов признаны стеклопластики на основе полиэфирных смол и различных стеклоармированных материалов.

3. Корпуса мелких судов весьма разнообразны. В зависимости от размеров, скорости и назначения они выполняются однослойными безбарными, однослойными с различными системами набора, трехслойными или комбинированными. Для средних и крупных судов наиболее рациональной признается однослойная обшивка с попеременной или смешанной системой набора. Профиль балок набора в СССР принят тавровым, а за рубежом, в частности в США, корычатым с легким наполнителем.

4. К трехслойным конструкциям (преимущественно в средних и крупных судах) многие советские и иностранные специалисты относятся отрицательно. Однако в некоторых странах продолжают строить суда с трехслойной обшивкой. Английские специалисты считают, что для судов длиной более 24 м экономически целесообразна только трехслойная конструкция. В связи с этим они ищут тонкие новые, более качественные наполнители.

5. Основным технологическим методом постройки средних и крупных судов является контактный способ со значительной степенью ручного труда. Однако намечается тенденция к использованию для судовых корпусов стеклопластика на основе наполненного рубленого

волока, что позволит снизить строительную стоимость, судна и существенно повысить степень механизации процесса их постройки за счет внедрения полуавтоматических штамповочных установок для изготовления основных конструкций и приформовки набора.

ГЛАВА 4.

СОЕДИНЕНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫЕ УЗЛЫ КОРПУСА СУДА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА



При проектировании и изготовлении корпусов судов и конструкций из стеклопластика особое внимание уделяется правильному выбору соединений отдельных элементов, рациональному конструированию узлов и их качественному выполнению.

Известно большое количество различных соединений деталей и конструктивных узлов пластмассовых судов, разработанных с учетом накопленного опыта, а также с учетом изменяющихся соединений металлических и деревянных судов.

§ 15. ТИПЫ И СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ

Все соединения корпусных конструкций из стеклопластика можно классифицировать по характеру расположения соединяемых деталей, их назначению, действующему на соединение нагрузкам, а также по материалу и конструктивной принадлежности деталей, входящих в узел соединения. На выбор типа соединений конструкций из стеклопластика непосредственно влияют способы их соединения между собой, существенно отличающиеся от способов, применяемых в металлическом и деревянном судостроении.

Соединения конструкций из стеклопластика по способу изготовления можно разделить на формованные, крепежные (на болтах, шпигтах, заклепках) и комбинированные — формовано-крепежные.

В зависимости от взаимного расположения соединяемых элементов различают соединения стыковые и угловые (рис. 53).

Стыковые соединения выполняются внахлестку (внакрой), на накладках и пересечением отдельных слоев стеклоткани соединяемых элементов конструкций. Соединения на накладках — опасные в пластмассовом судостроении. Как правило, их выполняют на двусторонних накладках. Односторонние накладки применимы в неплетеных конструкциях, где требуется сохранить ровную поверхность (соединения комингсов легкого выгородок, ватналов влозов, задельев и др.).

Подобляющее большинство соединений корпуса из стеклопластика выполняют с применением формованных стыковых и пазовых накладок.

Стыковые соединения, выполненные перекрестом свободных концов (пропитанных вакуумом) стеклопластик соединяемых элементов, применяются для соединения обшивок секций больших толщин.

Соединения накладками для корпусных конструкций применяются редко — в клеевых соединениях второстепенных конструкций при-

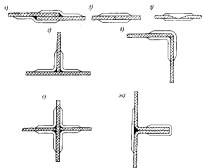


Рис. 53. Схематичные типы соединений: а — внахлест; б — стык; в — стык со скосом; д — Т-образный; е — Г-образный; з — крестообразный; ж — фланцевый.

соединение легких выгородок к набору, крепление деталей настила, фундаментов, установок (заделок). Клеяные соединения, выполненные накладками, обычно требуют последующей приформовки накладок или установка кромки.

Соединение со скосом кромок является промежуточным между стыковым и накладочным соединениями. Оно применяется в ремонтных работах для заделки пробоин в обшивке корпуса, а также для заделки различных малых монтажных отверстий при постройке судна. В этом случае раздельку кромок на углы выполняют механической обработкой отвержденного стеклопластика. Такая разделька позволяет повысить прочность клевого соединения и уменьшить толщину заформованного стеклопластика.

Выполнение скосов кромок соединяемых деталей — очень трудоемкая операция. Поэтому такое соединение применяют лишь тогда, когда другие соединения применить нельзя (например, при стыковом соединении обшивок большой толщины — более 12 мм).

Выполнением соединений кромок со скосами в сочетании с приформовкой их формованными накладками достигается высокая прочность соединения.

Угловые соединения делятся на двусторонние (Т-образные или тавровые), односторонние (Г-образные), крестообразные (Х-образные) и фланцевые (с отогнутыми фланцами). Наиболее широко распространены в корпусных конструкциях из стеклопластика угловые тавровые соединения. Однако способ их выполнения и конструктивное оформление достаточно сложное и напоминает клеваемые конструкции, в которых для выполнения Т-образных соединений требовалось устанавливать обделочные угольники.

Пока единственным надежным способом выполнения угловых соединений (так же, как стыковых) является формирование соединений с помощью последовательного наклеивания полос стеклопластик, пропитанных вакуумом. На тавровых соединениях устанавливают приформовочные угольники, как правило, с двух сторон (в исключительных случаях — с одной стороны).

На Г-образных соединениях также применяют двусторонние приформовочные угольники с одинаковым направлением полос. Угловые Г-образные соединения в корпусных конструкциях встречаются реже, чем тавровые, ввиду их асимметричности и недостаточной технологичности (трудность подгонки кромок в углу). При проектировании корпусных конструкций Г-образные соединения следует применять, например, при соединении борта с палубой, при установке поддерживающих балок в районе вырезов для обеспечения наибольшей величины отверстия в свету и в других конструкциях.

Крестообразные соединения применяют для соединения углов пересекającychся поперечного набора. Их конструкция аналогична тавровым.

Соединение с отогнутым фланцем не нашло широкого применения в корпусных конструкциях больших пластмассовых судов; их применяют лишь для крепления съемных листов, выгородок, фундаментов и др. На больших и малых катерах на фланцах соединяют палубу с бортом, корпус по ДП, рубку с палубой.

В зависимости от конструктивной принадлежности соединяемых деталей к стыковому соединением полотно относит соединения секций наружной обшивки, настилов палуб и платформ, переборок, стенок и крыш надстроек и других конструкций из листового стеклопластика.

К угловым Т-образным соединениям полотно относит соединения борта с закрытой палубой или платформой; переборок с выгородок с бортами, палубами и платформами; стенок надстроек с внутренними палубами и платформами, переборками и выгородками; надстроек с палубами.

Г-образными соединительными элементами являются соединения борта с открытой палубой; стенок с крышей надстройки; транцевой переборкой с палубой.

К стыковым соединениям набора относят соединения поперечного набора (шпангоуты, бимсы, флоры, стойки надстроек и переборок), продольного набора (пертикальный киль, диванное и бортовое стрингера, карлингс, продольные ребра жесткости), поддерживающих балок и других конструкций.

Угловые соединения набора — пересечение поперечного и продольного набора, взаимное прилегание балок набора.

Примерами угловых соединений набора с обшивкой являются узлы присоединения (прищажки) балок набора корпуса и деталей крепления насыщения к листовым конструкциям из стеклопластика.

Узлы соединения могут быть образованы из однослойных, трехслойных и комбинированных конструкций.

По материалу соединений конструкций различают соединения из однородных и разнородных материалов. Основным является соединение частей корпуса, изготовленных из однородного материала — стеклопластика; только отдельные конструкции, присоединяемые к корпусу (настилы полов, легкие выгородки, фундамента и др.), выполняют из металла или дерева.

По назначению и характеру воспринимаемых нагрузок соединения делят на прочные, плотные и прочно-плотные.

Соединения бывают разъемными и монолитными. Все основные соединения корпуса выполняют неразъемными.

К прочным соединениям предъявляются требования по обеспечению общей или местной прочности элементов конструкций в составе корпуса. К этому типу относятся все соединения поперечного и продольного набора с обшивкой и между собой; пронизываемых конструкций (платформ, переборок); фундамента, подкреплений, оборудования и насыщения к корпусу.

Плотные соединения должны обеспечивать непроницаемость и герметичность. Примером такой конструкции является соединение decks газонепроницаемой выгородки с корпусом.

Прочно-плотные соединения должны обеспечить прочность и непроницаемость конструкций. К ним относят все стыковые и пазовые соединения втулочной обшивки; настилов палуб и неармируемых платформ; встраиваемых в корпус шкелера жидких грузов; угловые соединения переборок, палуб и платформ с наружной обшивкой; узлы соединений с корпусом надстроек, рубок и других конструкций.

Прочные и прочно-плотные соединения по характеру действующих на них нагрузок можно разделить: работающие на растяжение и сжатие; работающие на изгиб и сдвиг. Особый случай — работа соединения на отрыв.

Соединение основных корпусных конструкций из стеклопластика выполняют, как правило, с помощью клеевых швов, т. е. методом формованных соединений. Следует избегать болтовых соединений основных связей корпуса, так как соединения пластмасс на метал-

лическом крепеже обладают повышенной податливостью, малой долговечностью и создают концентрацию напряжений в районе отверстий, просверленных для установок крепежа.

По сравнению с формованными болтовые соединения обладают меньшей прочностью и жесткостью, имеют тенденцию к разбалтыванию, требуют специальных мер для устранения водонепроницаемости. Поэтому такие соединения применяют относительно редко, в основном на малых судах (ялочки, катера) и в случаях, когда нельзя применить формованные соединения.

§ 14.

ФОРМОВАННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Формованным называют стыковое или угловое соединение конструкций из полимеризовавшегося стеклопластика, выполняемое последовательной укладкой слоев стеклоткани, протканых связующим и образующих стыковые накладки или приформованные уголки. Накладки (уголки) имеют переменное сечение за счет укладки в них слоев армирующего материала разной ширины. Ширина слоев увеличивается начиная с первого (внутреннего) слоя. Последовательно перекрывая предыдущий слой каждым следующим, при соответствующем раскросе стеклоткани получают плавный сгиб накладки на ус к обе кромок. Это снижает концентрацию напряжений, уменьшает вес и возможность задров и отслоений, придает соединению лучший вид.

Накладку выполняют двусторонней, так как при односторонней (даже усиленной) накладке соединение вместо работы за сдвиг начинает работать на отрыв. Клеяная пленка при работе на отрыв имеет малую прочность, а прочность формованных соединений обеспечивается практически только за счет одного слоя стеклоткани, протканной связующим.

При изготовлении формованных соединений конструкции и их соединительные элементы выполняют из одного материала.

Размеры элементов формованных соединений выбирают с таким расчетом, чтобы они компенсировали сечение соединительных конструкций и обладали достаточной прочностью на сдвиг и отрыв.

Все зазоры между соединяемыми конструкциями заполняют составом, состоящим из рубленого стеклошуга и связующего на основе полиэфирной смолы. С целью предотвращения элементов соединения от истирания, разрывания, расщепления, задров поперек основных слоев накладок и уголников укладывают дополнительные слои (по одному с каждой стороны), которые перекрывают кромки самого широкого слоя соединительного элемента на 100—150 мм. Этот слой иногда называют защитным или декоративным.

Стыковые соединения обшивки

К стыковым соединениям обшивки относят соединения без сколов кромок, со скосами кромок, с перебором свободных концов стеклоткани.

Выбор основных размеров стыкового бесшовного формованного соединения (рис. 54) в первом приближении может быть произведен на основе следующих соотношений:

$$L_1 = (10 + 50) S_2 + (100 + 200); \quad (4.1)$$

$$S_{2a} \geq 0,8S_{2max}$$

где L_1 — наибольшая длина накладки, мм;
 S_2 — наибольшая толщина каждой накладки, равная половине толщины наименьшей из соединяемых обшивок, мм.

Эта рекомендация справедлива для стыков при расположении осевых вдоль осей, растягивающих соединение, и для пазов —

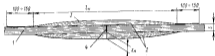


Рис. 54. Стыковое соединение обшивки.

1 — обшивка; 2 — накладка; 3 — дополнительная обшивка; 4 — стеклопакет.

при расположении осевых в смежных слоях под углами 45° к направлению паза. При расположении в пазах накладок осевые вдоль паза толщиной накладки S_2 следует увеличить до $0,8S_{2max}$. Формула (4.1) — эмпирическая. Она выведена по результатам испытаний большого количества опытных образцов и конструкций [10]. В ней размер 100 принимается для второстепенных конструкций, а 200 — для нагруженных конструкций.

При проектировании соединений обшивки структуру армирования необходимо выбирать таким образом, чтобы она была наиболее выгодной с точки зрения восприятия нагрузок, действующих на соединение. Направление осевых стеклоткани в стыковой накладке должно быть перпендикулярно стыку секций, а дополнительная закрывающий слой следует располагать осевой вдоль стыка непрерывно по всей его длине.

В пазах соединениях, подверженных действию сдвигающих усилий, рекомендуется применять диагональное армирование накладок с направлением осевых ткани под углами $\pm 45^\circ$ к пазу, за исключением двух-трех наружных слоев накладки, осевые которых должны быть направлены вдоль паза.

При составлении карт предварительного раскрой разницу в ширине смежных слоев стеклоткани принимают около 50 мм; при большом количестве слоев можно выполнять по два смежных слоя одинаковой ширины.

Полотнища стеклоткани укладывают без перекоса. Стыки смежных полотнищ разносят так, чтобы не было их повторения в одном сечении менее чем через 3—5 слоев стеклоткани.

Рассмотревшее соединение применимо для толщины не более 12 мм и выполняется без разделки кромок. Соединяя обшивки различной толщины (разность не более 2—3 мм), при формовании уменьшают число слоев, доводя толщину более толстой обшивки до толщины тонкой на участке, равном половине (или более) ширины стыковой накладки.

Выбранные расчетные элементы соединения обеспечивают достаточную прочность при растяжении и равнопрочность с основным материалом корпуса при сжатии.

Конструкция стыкового формованного соединения обшивок со скошенными кромками (рис. 55) технологически более сложна, чем бесшовная, и применяется при толщинах выше 12—14 мм, так как с увеличением толщины обшивки прочность соединения падает; при этом на его прочность начинает оказывать отсутствие клеевой связи внутренних слоев стеклопластика в районе соединения. Дальнейшее увеличение толщины соединяемых накладок не повышает прочности соединения.

Выполнять скос кромок соединяемых обшивок можно механической обработкой режущим инструментом и формованием в процессе изготовления обшивки.

Первый способ трудоемок, дает большие отходы материала и при неочной, преимущественно ручной, обработке может привести к зазему кромок. Это вызывает недопустимое увеличение зазора между секциями. Механическую обработку кромок выполняют при резке.

При формовании обшивок секций для выполнения скосов по кромкам на матрице устанавливают дополнительные планки, из которых производят подрезку слоев стеклоткани, образующих скос. Соединения со скосами обычно имеют ступенчатую разделку стыкующихся поверхностей; на каждой «ступени» укладывается по 2—3 слоя стеклоткани, пронизанной связующим. После заволакивания скосов укладывают стыковые накладки аналогично бесшовному соединению. Структура армирования стеклопластика, заполняющего скосы, должна соответствовать структуре соединяемых секций.

Пазовые накладки, пересекающие стыки, выставляют после установки стыковых накладок, перекрывая их. В районе приклятия паза к стыку вначале устанавливают пазовую, и затем стыковую накладки.

Стыковое соединение с перекосом свободных концов стеклоткани соединяемых секций (рис. 56) выполняют следующим образом.

Кромки двух смежных конструкций, имеющих неформованные (не пропитанные смолой) концы слоев стеклоткани, после пропитки поочередно укладывают от одной, а затем от другой обшивки.

Предполагалось, что последовательная укладка слоев стеклоткани с разосом стыков после полимеризации даст соединение,



Рис. 55. Стыковое соединение обшивки со скошенными кромками.

1 — скосы; 2 — соединяемые накладки.

равнопрочное с основным материалом. Однако при выполнении соединения происходит вытягивание свободных конца стеклоткани, что ведет к значительному ослаблению соединения, которое

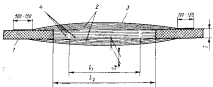


Рис. 56. Стыковое соединение обшивки с зерном сланца.

1 — обшивка; 2 — смола; 3 — армирующий слой; 4 — зерно сланца

приходится подкреплять увеличенными по ширине стыковыми накладками. Этот вид соединения не имеет широкого применения из-за технологической сложности его выполнения.

Угловые соединения обшивки и набора

Все угловые формованные соединения (рис. 57) выполняют с помощью приформовочных угольничков, которые, так же как стыковые накладки, состоят из последовательно уложенных в угол и пропитанных смолой полос стеклоткани разной ширины.

Размеры приформовочного угольничка могут быть определены по следующим эмпирическим соотношениям:

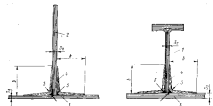


Рис. 57. Угловые соединения обшивки и набора (приформовки).

1 — профиль; 2 — смола; 3 — обшивка; 4 — приформовка; 5 — стеклоткань.

небольшая толщина δ каждого угольничка должна быть не менее половины наименьшей из соединяемых толщин;

ширина полки каждого угольничка должна быть не меньше величины $b \geq (7-8) \delta$;

наименьшая ширина полки для приформовки набора — 30 мм, для приформовки главных поперечных переборок, надстроек и внутренних палуб (платформ) — 70 мм, для приформовки открытых палуб — 120 мм.

В качестве расчетной ширины полки принимают величину $A_p = 2\delta$, как это рекомендовано в [62].

При приформовке приформовочных угловых соединений следует учитывать, что они загружены значительными сдвигающими усилиями. Поэтому для больших приформовочных угольничков, соединяющих переборки и палубы, целесообразно применить параллельно-диагональную структуру армирования. Следует также учитывать, что смола в соединительных (клеевых слоях) плохо сопротивляется воздействию отрывающих усилий и значительно лучше противостоит сдвигу. Поэтому во всех соединительных узлах конструкция старается избежать соединений, работающих на отрыв, заменяя их соединениями, работающими на сдвиг.

Все выбранные элементы приформовочных угольничков, так же как и соединительных накладок, должны быть проверены на прочность на сдвиг и отрыв на действующие нагрузки.

Стыковые соединения набора

Формованные стыковые соединения поперечного и продольного набора (рис. 58) выполняют с помощью соединительных накладок. Ввиду того, что в настоящее время получили распространение балки таврового профиля, все рекомендации по выбору соединительных элементов относятся, в основном, к этому наиболее рациональному профилю (для существующих материалов). Одним из преимуществ тавра с одной стенкой и поперком является возможность установки двусторонних накладок по стенке и по поперку, что обеспечивает компенсацию соединяемых частей и достижение необходимой прочности соединения.

У коробчатых профилей, имеющих две стенки, возможна установка только наружных формованных накладок, поэтому равнопрочности соединения с основным материалом достичь здесь трудно.

Стыковое соединение состоит:

из одной поперковой накладки, расположенной по ширине полки профиля и имеющей толщину не менее половины толщины полки и длину не менее двух высот профиля;

из двух накладок стенки, расположенных по ее высоте, с толщиной не менее половины толщины стенки и длиной, равной длине поперковой накладки. Конец накладки, прилегающий к обшивке, отгибает в виде полки приформовочного угольничка, поэтому иногда накладку по стенке называют накладкой-угольничком;

из одной накладки-обшивки, обволакивающей поперковую накладку с перекрестом на накладку стенки, с толщиной не менее по-

ловины толщины стенки и длиной не менее полутора высот профиля.

Выбор основных конструктивных элементов соединения набора может быть произведен исходя из следующих эмпирических соотношений, определенных опытным путем:

$$\left. \begin{aligned} I_{a, \text{н}} &= \geq 2h; \\ S_{a, \text{н}} &\geq 0,5S_{a, \text{с}}; \quad I_{a, \text{с}} = I_{a, \text{н}}; \\ S_{a, \text{с}} &\geq 0,5S_{a, \text{с}}; \\ I_{a, \text{с}} &\geq 1,5h; \quad S_{a, \text{с}} = S_{a, \text{н}}; \end{aligned} \right\} (4.2)$$

$a = 0,5h$ — для высоких балок;
 $a = 0,7h$ — для ребер жесткости и низких балок;
 $b = \delta_{\text{ст}}$

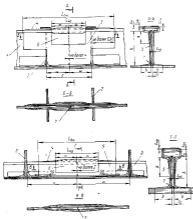


Рис. 58. Стыковое соединение набора.

1 — армирующая балка; 2 — продольная балка; 3 — ребро жесткости; 4 — продольная балка; 5 — накладка из ст. (ГОСТ); 6 — болт; 7 — стальной лист.

где $J_{\text{пр}}$ — длина поперковой накладки, мм;
 $S_{\text{пр}}$ — толщина полки профиля, мм;
 h — высота стенки профиля, мм;
 $S_{a, \text{н}}$ — толщина поперковой накладки, мм;
 $I_{a, \text{н}}$ — длина накладки стенки (накладки-угольника), мм;
 $S_{a, \text{с}}$ — толщина накладки стенки, мм;
 $S_{a, \text{н}}$ — толщина стенки, мм;
 $I_{a, \text{н}}$ — длина накладки-обвязки, мм;
 $S_{a, \text{с}}$ — толщина накладки-обвязки, мм;
 a — перебор накладки-обвязки по стенке, мм;
 b — ширина отгиба накладки, мм;
 $h_{\text{ст}}$ — ширина полки приформованного угольника.

На все накладки составляют карты раскроя, обеспечивающие плавное уменьшение указанных выше минимальных размеров, складывающихся на ус.

Структуры армирования накладок принимают аналогично поперкам и стенкам: поперковую накладку и накладку-обвязку укладывают основной вдоль профиля, накладки стенки — по диагональной структуре, если стенка выполнена диагональной, последние (наружные) слои укладывают основной вдоль балки.

Приведенные соотношения для и толщины соединительных накладок являются ориентировочными и могут иметь другие значения в зависимости от конструкции соединения, армирования и пр.

§ 11. БОЛТОВЫЕ, ВИНТОВЫЕ И ЗАКЛЕПочНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Болтовые соединения

Болтовые соединения конструкций из стеклопластика применяют:

для создания разъёмного соединения;

для неразъёмного соединения, работающего на действии значительных отрывающих усилий, особенно в тонкостенных конструкциях (до 5—7 мм);

для присоединения к стеклопластику металлических и деревянных конструкций, а также неоднородных со стеклопластиком пластмасс.

Следует отметить, что в частном виде болтовые соединения применяют только в разъёмных соединениях; в остальных случаях используют комбинированные соединения.

Примером разъёмных соединений является крепление на палубах и переборках съемных листов (рис. 59), предусмотренных для погрузки и выгрузки оборудования.

Крепление слезного листа на открытой палубе выполняют с помощью отформованного звадно с настлом козырька (возможна его приформовка).

Наличие козырька позволяет не сверлить отверстия в настле и избежать ослабления конструкции, а также улучшает непроницаемость соединения. На внутренних палубах крепление слезных листов осуществляется выхлестку, а если требуется создание гладкой поверхности, то при изготовлении настла отформовывают внутренний фланец, обеспечивающий установку слезного листа заподлицо с настлом.



Рис. 59. Связь крепления слезного листа на открытой палубе.

1 — слезный лист; 2 — вылет (защита с козырьком); 3 — прищипок; 4 — шпатель; 5 — расстояние от края до болта; 6 — расстояние между рядами; 7 — шаг болтов; 8 — вылет, обеспечивающий возможность установки болта для талы ($b > 50$ мм).

массе и надрезам и ударам, повышенную концентрацию напряжений в районе отверстий, склонность к ползучести, возможность ослабления затяжки болта, невысокую контактную прочность при действии концентрированных на небольших участках усилий, влияние экзотермических и длительных нагрузок и другие факторы.

Поэтому при выборе элементов болтового соединения необходимо правильно определить величину и характер действия приложенных нагрузок, а также надо знать физико-механические характеристики стеклопластика, его структуру армирования, данные о прочности материала, ослабленного отверстиями, экспериментальные и эксплуатационные характеристики прочности болтовых соединений аналогичных конструкций из стеклопластика.

Неразъемные соединения на болтах обычно применяют в сочетании с клеем и приформовками (комбинированное соединение). Примером неразъемного соединения конструкций из стеклопластика может служить присоединение крыши толстой цистермы, встроеной в корпус, к фланцам движкового набора, где применяется клево-болтовое соединение, обеспечивающее непроницаемость и большую прочность за отрыв, чем приформовка.

В неразъемных болтовых соединениях необходимо особое внимание обращать на обеспечение непроницаемости конструкций (там, где это требуется), для чего используют герметизирующие пасты, клеи, водотку льноволокна, пропитанного бальзамом, под крепежные детали, обформовочные накладывки и прокладку.

При конструировании болтовых соединений стеклопластика следует учитывать большую чувствительность пластмассы к надрезам и ударам,

Основными параметрами (в мм) болтового соединения являются:
 d — диаметр болта;
 l — шаг болтов;
 n — число рядов;
 c — расстояние между рядами;
 a — расстояние от центра болта до свободного края (см. рис. 59).

Указанные величины выбирают в зависимости от толщины соединяемых конструкций, направления и величины действующих усилий и от податливости соединений.

Нормы на элементы болтовых соединений конструкций из стеклопластика еще не разработаны, и в каждом отдельном

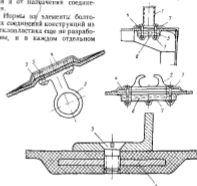


Рис. 60. Болтовые и клево-болтовые соединения.

1 — лист; 2 — клеевая паста; 3 — крышечка; 4 — металлическая накладывка; 5 — вылет болта; 6 — диаметр отверстия; 7 — приформовка.

случае конструктор руководствуется своим опытом, а также данными по болтовым соединениям конструкций из традиционных материалов. При этом нужно учитывать, что расстояние между болтами, отстояние болтов от кромок и другие размеры увеличиваются по сравнению с металлом и приближаются по размерам к соединениям из дерева и фанеры.

При разработке болтовых соединений (рис. 60): давление, приходящееся на стеклопластик под головкой болта, не должно превышать 100—150 кгс/см²; предел прочности при смятии в первом приближении может быть принят равным пределу прочности при сжатии;

диаметр болта принимается равным $d = (0,8 + 1,0) S$, где S — наибольшая толщина соединяемых деталей;

расстояние от центра болта до свободной кромки должно быть $a \geq 3d$;

расстояние t между болтами в ряду должно быть $\geq 4d$, а расстояние s между рядами — $\geq 3,5d$; наиболее распространенное расположение болтов — шахматное;

под болты в гайки следует устанавливать металлическое прокладки или шайбы увеличенного диаметра ($d_{ш} \geq 2,5d$);

отверстия под болты в стеклопластике должны иметь диаметр $d_b = (1,02 + 1,05) d$.

Указанные рекомендации относятся к прочным швам. Практика показала, что плотность соединения не может быть обеспечена только за счет обжатия листов болтами даже при их минимальном сближении; только при наличии в соединении герметизирующих элементов и обформовке может быть обеспечена его плотность.

Винтовые соединения

Винтовыми называют соединения конструкций из стеклопластика, в которых применяют винты. Конструкции соединяют за счет нарезки при ввинчивании винтов в стеклопластик или в металлическую деталь, непосредственно связанную с ним (заформованную, приклеенную).

Винтовые соединения не нашли широкого применения в пластмассовом судостроении, так как предварительное нарезание отверстий под винты очень трудоемко, а держащая сила винта и падает с течением времени. Винтовые соединения используют, в основном, при сборочных и монтажных работах, для создания необходимого давления при сальванации, для крепления всевозможного вида зашпонок и т. п.

Рекомендуется ввинчивать только самонарезающие винты; обычные винты в стеклопластик вкручиваются плохо и держат слабо. Винты следует ввинчивать перпендикулярно слоям; ввинчивание винтов в торцы недопустимо.

Винтовые соединения применяют часто в сочетании с заформованными втулками или планками; в этом случае соединяют стеклопластик с металлом.

Соединения на винтах с гайками используют для создания гладкой поверхности: в неразъемных соединениях — с последующей оклейкой их слоями стеклопластика (при этом применяют винты с полукруглой или потайной головкой), в разъемных соединениях — при соединении листов малой толщины (до 6 мм). В последнем случае под головки винтов устанавливают шайбы или металлические планки.

Заклепочные соединения

Заклепочные соединения (рис. 61) применяют для соединения легких конструкций из стеклопластика, не несущих значительных нагрузок: при установке легких выгородок, деталей

наращивания и т. п., когда обязательно обеспечивать непроницаемость и высокую прочность.

Соединение на заклепках основных корпусных конструкций не получило распространения в связи с тем, что при ударах и сильном обжатии во время клепки стеклопластик получает повреждение под

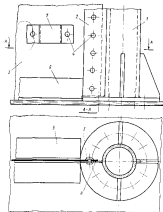


Рис. 61. Заклепочное соединение.

1 — шильон; 2 — конус; 3 — отверстие; 4 — заклепка; 5 — шайба; 6 — приформовка; 7 — шайба; 8 — шайба.

головкой заклепки. Однако в некоторых случаях применение клепки целесообразнее формованных соединений, так как заклепочный шов имеет лучший внешний вид, меньший вес и его выполнение менее трудоемко, чем приформовка.

При клепке, как правило, применяют заклепки из алюминиево-магниевого сплава, которые легко обжимаются без нагрева. Под головки заклепок, во избежание повреждения стеклопластика, подкладывают шайбы увеличенного диаметра. При соединении с металлическими деталями закладную головку устанавливают со сто-

рвыи стеклопластика. Соприкасающиеся поверхности покрывают клеем. Диаметр заклепок принимают равным суммарной толщине соединяемых деталей (для толщины 2—3 мм). Обычно клепку армируют заклепками диаметром 4—6 мм. Параметры заклепочного шва принимают аналогично параметрам болтовых соединений (см. стр. 139).

§ 18. КОНСТРУКТИВНЫЕ УЗЛЫ КОРПУСА

Ниже приведены основные конструктивные узлы корпуса пластмассовых судов, имеющих относительно большое водоизмещение. Узлы разработаны применительно к набору, соединенному в однослойной обшивке, что наиболее характерно для судов отечественной постройки. Конструктивные узлы малых судов (шлюпки, катера) обобщены, поэтому они рассмотрены менее подробно.

Узлы пересечения набора корпуса между собой

Рассмотрены следующие конструктивные узлы: пересечение продольных ребер жесткости с поперечным набором (рис. 62) — бимсами, шпангоутами, флорами;

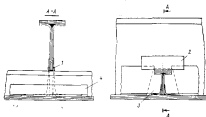


Рис. 62. Узел прохода ребра жесткости через набор (пронзаемый).

1 — задняя часть (стеклопластик); 2 — шпангоут; 3 — профилировка набора; 4 — профилировка ребра.

пересечение поперечного набора (бимсов, шпангоутов, флоров) с основными продольными балками (карлингами, дщевыми и бортовыми стрингерами, вертикальным килем).

Особенностью узла, приведенного на рис. 62, является обязательная заделка выреза в стенке поперечной балки. В стальных конструкциях установка заделок производится не всегда, так как считается

достаточной приварка стекла и головки болтособульба к стенке балки. В конструкциях из стеклопластика незаделанный вырез создает большую концентрацию напряжений, в 3—5 раз большую, чем у металлических конструкций. Передача усилий с ребра на балку может быть обеспечена только через клеовые соединения, выполняемые с помощью приформовочных угольников и накладок.

Заделку выреза производят следующим образом. С одной стороны стенки балки приваривают оформительную планку из фанеры, покрытой разделительным слоем и служащей основанием для укладки в вырез стекловолокна, пропитанного смолой.

Плотно уложенную заделку закрывают оформительной планкой с противоположной стороны, и обе планки скрепляют взаимной струбциной. После отверждения и снятия оформительных планок производят двустороннюю приформовку ребер жесткости к стенке балки. Для ребра таврового или полтособульбового профиля устанавливают отдельно угольники по его стенкам и накладку по стенке балки с оттавом части стеклолочки на полку ребра. Для ребра корыччатого профиля возможна установка непрерывных приформовочных угольников по контуру профиля; при необходимости производят небольшую расшивку стеклолочки или местной ее надир.

Качественно изготовленный узел обеспечивает надежное соединение ребра жесткости с балкой, являясь конструктивно прочным, но не эластичным; применяется в местах, где не требуется обеспечение надежной и постоянной водопроницаемости и герметичности. Высота выреза должна составлять не более половины высоты стенки.

Вырез выполняют прямоугольным или трапециевидным. В некоторых случаях, когда перекрытие работает на значительное внутреннее давление (авиационные крылья напорных дисерти) и возможен отрыв ребра от стенки балки, вырез выполняют скругленным с внутренними скосами. В этом случае заделка своими клеевыми скосами прижимает стекло балки к обшивке и препятствует ее отрыву.

При переходе ребер жесткости через непроицаемые бимсы, шпангоуты и флоры узлы конструктивно выполняют так же, как узел прохода набора через непроицаемые переборки (см. ниже).

Узел пересечения поперечного набора с основными продольными балками корпуса [10] может быть выполнен в виде конструкции с пристыкными килсами и непрерывными поперечными балками (рис. 63).

В некоторой степени эта конструкция повторяет известную конструкцию металлических судов с замной сваркой на приформовку.

Поперечные балки постоянного сечения пропускают через прямоугольный вырез в стенке продольной балки, которая имеет высоту, равную удвоенной высоте (или более) поперечной балки. Вырезы заделывают двусторонними заделками «вокруг» (стекловолокном на смоле) и заформовывают угловыми накладками. Однако для передачи усилий с бимсов на карлинги или со шпангоутов на стрингера этого недостаточно. Для этого надо устанавливать дву-

сторонние калды с поскоками и приформовать их к полкам и стенкам пересекающегося набора.

Преимуществом указанной конструкции является непрерывность поскока и сохранение постоянной высоты стенки бинсов (шлангоутов) по всей длине. Это позволяет применить набор, изготовленный механизированным способом.

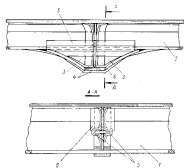


Рис. 63. Узел пересечения рукава и бинса (с приставным калдом).

1 — рукав; 2 — бинс; 3 — фланец; 4 — обкладка; 5 — профилировка; 6 — фланец; 7 — профилировка.

Недостатки — отсутствие монолитности, сниженная прочность составной конструкции, значительный объем и вес приформовочных угольников и накладок, а также технологические трудности при подгонке и приформовке калда.

Узел пересечения набора может быть выполнен (рис. 64) также в виде конструкции с монолитными калдами (соединение на пролезях). Ее особенностями являются: сохранение непрерывности части стенок набора и всего поскока продольной балки, наличие разрыва в конске поперечной балки в плане по высоте ее консы к месту пересечения набора, в котором обе балки имеют одинаковую высоту.

В поперечной балке сохраняется непрерывная часть стенки, примыкающей к обшивке перекрытия. Высота ее должна быть не меньше высоты стенки в пролете, чтобы воспринять срезающую нагрузку. Поскок поперечной балки также выводится к поскоку продольной

балки и прерывается на ней. В месте пересечения к усиленной до высоты стенки выполняется пролезь; аналогичная пролезь со стороны, примыкающей к обшивке, выполняется в стенке продольной

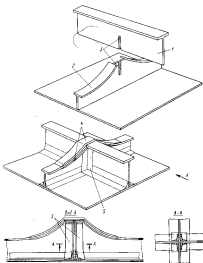


Рис. 64. Узел пересечения продольного и поперечного набора (с монолитными калдами).

1 — продольная балка; 2 — поперечная балка; 3 — фланец; 4 — обкладка; 5 — профилировка; 6 — фланец; 7 — профилировка.

балки, но не больше, чем на половину ее высоты [62]. Таким образом, соединение балок осуществляют пролезью в пролезь (на полурез, как троеборье). При этом поскок и примыкающая к ней половина стенки продольной балки, участвующая в общем изгибе корпуса,

остаются непрерывными. Для компенсации пореза в поперечной балке на разрезной поперечной наформовывают накладку с двух сторон пореза толщиной не менее 0,5 толщины поперечной балки с одной наружной стороны (при невысоких профилях, где затруднена установка внутренней накладки) толщиной не менее 0,8 толщины поперечной балки.

Для создания монолитного узла соединения с помощью прорезей пересекающиеся балки приформовывают одну к другой вертикальными угольниками по всем углам пересечения.

Рассмотренный узел требует некоторого усложнения осмысли, но зато является монолитным и надежным в работе; он позволяет избежать соединений, работающих на отрыв, заменяя их соединениями, работающими на срез, что повышает несущую способность одного из важнейших узлов корпусных перекрытий — пересечения карлингсов и стрингеров с бимсами и шпангоутами (флорам). В конструкциях относительно больших пластмассовых судов этот узел широко применяют. Он оправдал себя с технологической и эксплуатационной точек зрения (например, на судне «Надежда»).

Узлы соединения борта с верхней палубой

Узел соединения борта с верхней (открытой) палубой является одним из важнейших конструктивных элементов корпуса судна из стеклопластика. Правильное конструктивное оформление этого узла имеет особое значение ввиду того, что до настоящего времени не достигнута равнопрочность всех видов соединений стеклопластика по сравнению с основными материалами.

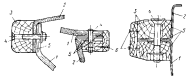


Рис. 65. Узлы соединения палубы с бортом (для малых судов).

1 — борт; 2 — палуба; 3 — привальный брус; 4 — бимс; 5 — шпангоут; 6 — порез.

Даже у малых судов, изготовляемых монолитно в матрице или на ливансе, не удается обойтись без присоединения к корпусу отдельно изготовленной секции палубы. Это соединение выполняется непрерывным и непроницаемым по всему контуру корпуса, так как оно наиболее подвержено воздействию внешних нагрузок при эксплуатации судна (морское волнение, удары при швартовке, якорь и др.).

Известны узлы соединения палубы с корпусом с помощью отогнутых фланцев, деревянных прокладок и привальных брусков. Эти соединения применяют на катерах и малых судах (рис. 65).

Соединения на кренеке выполняются формованными соединениями, у которых хорошо себя зарекомендовали монолитность, малая податливость и надежность в эксплуатации.

Формованное соединение борта с палубой (рис. 66) представляет собой связь обшивки и балок палубного и бортового набора. Соеди-

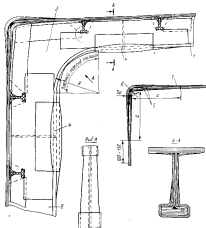


Рис. 66. Узел соединения борта с верхней палубой.

1 — борт; 2 — шпангоут; 3 — палубная обшивка; 4 — соединительный угольник; 5 — соединительная накладка обшивки; 6 — стеклопластик; 7 — армирующий слой.

нение обшивки борта с настилом палубы является разновидностью стыкового соединения, выполненного под углом.

Примерительно к этому соединению выбор двусторонних соединительных накладок, являющихся для углового соединения приформованными угольниками, может быть определен следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} S_3 &\geq (0,5 + 0,8) S_{\text{борт}} \\ 2a &\geq (10 - 20) S_3 + 200 \text{ мм} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

где S_p — расчетная толщина каждой накладки (должна быть не менее половины наименьшей из соединяемых толщин при диагональной структуре армирования накладок и не менее 0,8 толщины при параллельной структуре);

Z_0 — развернутая ширина каждой накладки (наименьшее значение $Z_0 = 250$ мм).

Для предотвращения наружной накладки от задрозов на нее сверху наносят дополнительный слой стеклоткани с заправлением основы вдоль корпуса, перекрывающий крошки примерно на 150 мм с каждого края.

Особенностью такого конструктивного узла является наличие фигурной зубчатой кницы, соединяющей астик с бимсом и шпангоутом, которые не доводятся, соответственно, до борта и палубы для размещения стыкующих накладок и выполнения плавного кинжового перехода блок набора.

При соединении настила палубы с наружной обшивкой из стеклопластика необходима приформовка двух непрерывных двусторонних соединительных накладок. Наружную накладку формируют свободно, а для установки внутренней угловой накладки требуется свободное пространство между бимсами и шпангоутами, которое создается благодаря фигурным зубчатым кницам, устанавливаемым после приформовки внутренней накладки. Фигурные кницы легко заводят обшивку и соединяют с набором.

Фигурные кницы выполняют с плавным переходом размеров стенок и поясков профилей бимсов и шпангоутов.

Для небольших судов с однослойной обшивкой и тавровым поперечным набором, эксплуатирующихся в сравнительно легких условиях (реки, небольшие водоемы) в случаях, когда не требуется непрерывная внутренняя соединительная накладка, можно применять узел соединения без зубчатой кницы. Тогда внутреннюю накладку разрезают между поперечным набором; последний соединяется между собой с помощью книц, формируемых заодно с набором, или приставных, соединяемых с помощью приформовочных угольников и накладок.

Узел прохода поперечных и продольных балок через палубы и переборки

При пересечении бортовых перекрытий с шкверными внутренними палубы и платформ (рис. 67) важно создать непроницаемые узлы в местах прохода шпангоутов через настил и обеспечить прочное и надежное соединение их с бимсами.

Для прохода напорных шпангоутов в настиле палубы предусматривают прямоугольные (трапециевидные) вырезы. При небольшой высоте профиля место прохода заделывают стекловолокном на смоле (эмалевой); при значительной высоте шпангоутов (от 150 мм и выше) возможна установка заделок из сухого стеклопластика с последующей герметизицией уплотняющей пастой контура их стыкового соединения с настилом и обформовкой соединения накладками и приформовочными угольниками.

Соединение бимса со шпангоутом можно выполнять на приставных кницах с приформовкой стенки бимса и книц к полке шпангоута; непосредственно приформовкой и полке шпангоута бимсовой кницей, изготовленной заодно с бимсом посредством плавного угольника его высоты (λ 1,5—2 раза).

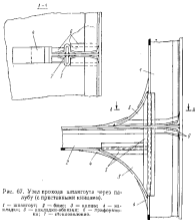


Рис. 67. Узел прохода шпангоута через палубу (с приставными кницами).

1 — шпангоут; 2 — бимс; 3 — кница; 4 — настил; 5 — заделка; 6 — приформовочная кница; 7 — стеклокница.

Для обшивки вариантов обязательна установка верхней кницы, необходимой для увеличения жесткости узла и закрепляющей обшивку заделки.

Эту конструкцию применяют преимущественно в тех узлах, в которых не требуется обеспечить работу соединений при действии значительных отрывающих усилий. Она может быть рекомендована для небольших судов, например, для узлов прохода шпангоутов через бортовые толстые цистерны, встроены в корпус катеров из стеклопластика.

Для конструкций, воспринимающих большие внешние нагрузки на относительно больших судах с корпусами из стеклопластика с внутренними палубами и платформами значительной протяжен-

ности, следует рекомендовать узел прохода шпангоута через палубу (рис. 68).

Особенности этого узла: сохранение непрерывности стенки шпангоута и ее плавный переход в стенку фигурной двойной кницы, соединяющей шпангоут с бимсом; прерывание пояса верхней ветви

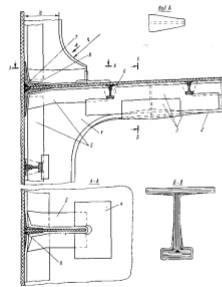


Рис. 68. Узел прохода шпангоута через палубу (с монолитными кницами).

1 — шпангоут; 2 — бимс; 3 — продольная кница; 4 — палуба; 5 — шпангоут; 6 — палуба; 7 — поперечная кница.

шпангоута и плавный переход пояса шпангоута в пояс бимса, соединяемых между собой ветвями; наличие в настиле палубы прореза для прохода стенки шпангоута.

Высоту стенки в месте прохода определяют с учетом момента инерции сечения, необходимого для восприятия изгибающего момента и срывающей силы, действующих в осях сечения шпангоута на палубе. Ввиду того, что в этом месте свободный пояс профиля отсутствует, требуется значительное увеличение высоты стенки (в 2—2,5 раза), а иногда и ее утолщение. Ширину прореза определяют толщиной стенки шпангоута и технологическим зазором (1—2 мм на сторону); в верхние вырезы кромку скругляют по радиусу, а основания вырезают скосы для прохода приформовочных угольников шпангоута.

Указанные мероприятия позволяют создать контур, предназначенный для заполнения утолщающей пастой, обеспечивающей непрерывность соединения. Этой же цели служит небольшой полу-круглый вырез радиусом 15—20 мм в стенке шпангоута по линии пересечения с палубой, который после заполнения пастой является стопором, препятствующим распространению жидкости под стенкой шпангоута, при затоплении одного из смежных отсеков; артефицированные угольники шпангоута в этом месте прерываются.

В верхней ветви шпангоута поясок плавно по радиусу ($R \geq h$) отгибает и сужает (примерно капловзвну), уменьшая его и по толщине. Так образуется вместе со стенкой верхняя часть фигурной кницы, имеющей притупление, равное высоте приформовочного угольника.

В нижней ветви шпангоута поясок по радиусу переходит по высоте на уровень пояса бимса, уменьшаясь по ширине и толщине до величины последнего и образуя нижнюю часть фигурной кницы, переходящей в прямолинейный участок, стыкуемый с бимсом. Стенка шпангоута на этом участке плавно увеличивается по высоте и уменьшается по толщине. Диагональная структура армирования стенки облегчает формовку этой довольно сложной по конфигурации части шпангоута.

Бортовую секцию с палубой с помощью описанного узла соединяют следующим образом. Стенками приформованных к обшивке шпангоутов секцию заводят в прорезы настила палубы, после чего устанавливают приформовочные угольники, соединяющие настил с обшивкой борта, производят обформовку проходящих через прорезы стенок шпангоутов и выплавляют стыковые соединения шпангоутов с бимсами. Стыковое соединение, состоящее из поясковой накладки, накладок-угольников (по стенке) и накладок-обшивки, выполняется как все другие соединения набора (см. рис. 58).

При установке основных продольных балок (карлингов, стрингеров, вертикального кика), пересекающих главные поперечные переборки, конструктивные узлы выполняют так же, как при проходе шпангоутов через палубу. В этом случае непрерывной является продольная балка, а стойку переборки присоединяют к ней. В закладываемые переборки вносятся либо прямоугольные вырезы для прохода

карлигов (стригеров) с неперекрывающимися поясками, соединяемыми со стойками переборки шпациями, либо прорези для прохода стенок фигурных книц с переходом поясков продольных балок в пояски стоек.

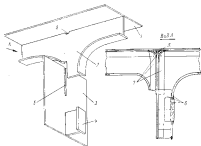


Рис. 69. Узел прохода карлика через отверстие переборки.

1 — книця калубы; 2 — калубы; 3 — шпациями; 4 — шпайка; 5 — прорези; 6 — соединительные накладки; 7 — приформованная стойка; 8 — стальной угольник.

Учитывая участие основных продольных балок в обеспечении продольной прочности корпуса и возможность трыва приформованных книц при больших прогибах, кницные соединения карлигов и стригеров со стойками переборки менее желательны, чем соединения шпангоута с бимсами. Узел прохода продольных балок через поперечные переборки (рис. 69) для всех судов из стеклопластика, за исключением шлюпок и малых катеров, является основным.

Узел прохода ребер жесткости через непроходимые конструкции

При построении корпуса судна из стеклопластика значительные затруднения по обеспечению непроницаемости возникают в узлах прохода балок набора и, в частности, ребер жесткости различного назначения (продольных, поперечных) через водонепроницаемые переборки; палубы и платформы; стенки и крыши топливных, масляных и водных цистерм; выгородки и стенки, образующие газонепроницаемые контуры.

Общий принцип выполнения таких узлов — установка заделок, изготавливаемых из того же материала, что и основные конструкции,

и перекрывающих отверстия в перекрытиях, через которые проходит ребра жесткости. Отверстия заделывают рубленым стекловолокном, пропитанным смолой. Образованная затвердевшая масса стеклопластика выполняет функцию заделки; крепление ее осуществляют с помощью приформованных угольников и накладок (рис. 70).

Этот узел состоит из ребра жесткости, соединяемого с наружной обшивкой приформованными угольниками, пропущенного через

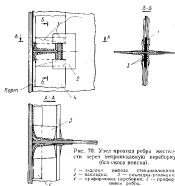


Рис. 70. Узел прохода ребра жесткости через непроходимую переборку (без шпайки калубы).

1 — ребро жесткости; 2 — переборка; 3 — заделка из стекловолокна; 4 — угольник; 5 — приформованная накладка; 6 — приформованная переборка; 7 — приформованная обшивка.

треугольный вырез в полотнище. Для обеспечения непроницаемости и прочности соединения вырез закладывают стекловолокном, пропитанным смолой, затем выполняют приформовку, прочно соединяя обшивку и пояску ребра с обшивкой и со стойкой переборки (набором перекрытия).

Отвердевший стеклопластик заделки, закрывающий вырез для прохода ребра, приформованные угольники и накладки изготавливают из однородного материала, выполняющего одновременно функцию герметика и прочной соединяющей заделки.

Описанный узел соединения конструкций нашел широкое применение на малых пластмассовых судах — катерах и шлюпках.

Следует отметить, что при проектировании и эксплуатации пластмассовых судов следует помнить о том, что приведенная выше конструкция узла не всегда надежно обеспечивает непроницаемость соединения, особенно

при значительных нагрузках, действующих на конструкцию (заполнение цистерн топливом, водой и маслом; аварийные пары).

Основные причины нарушения непроницаемости:

наличие в перекрытии достаточно большого по ширине и высоте выреза, уплотнение которого затруднено, особенно под нижней кромкой свободного попуска ребра жесткости таврового профиля (потолочное положение для днищевых ребер);

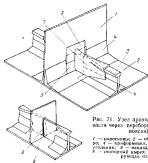


Рис. 71. Узел прохода ребра жесткости через переборку (по свободному попуску).

1 — соединение; 2 — обшивка; 3 — ребро; 4 — профильная; 5 — уплотнительная прокладка; 6 — замазка; 7 — обшивка переборки; 8 — герметизирующая паста.

наличие конструктивных зазоров между стенкой ребра и обшивкой, а также в углах под приформовочными угольниками, создающих каналы для проникновения жидкости или воздуха;

использование для заполнения выреза в перекрытии смеси стекловолокна со связующим, обладающей недостаточными уплотняющими свойствами из-за образования при отверждении стеклопластика мельчайших капиллярных каналов; каналы во время эксплуатации превращаются в трещины, ввиду малой эластичности стеклопластиковой заделки;

невозможность проведения поперечного контроля качества соединения в процессе выполнения узла, так как полимеризация стеклопластика в заделке и в приформовочных соединениях происходит одновременно.

После налива отсека водой или проведения других видов испытаний в узлах прохода ребра через переборку или палубы часто обнаруживаются течи, для устранения которых проводят трудоемкие работы по откачке воды из отсека, его осушению и очистке, вырубке

приформовки, заделки, очистки и уплотнению места течи, восстановлению приформовки и повторной проверке непроницаемости.

Новое конструктивное оформление узла прохода ребра жесткости через непроницаемое перекрытие (рис. 71) позволяет избежать указанные выше недостатки и получить более надежное непроницаемое соединение*. В узле разделены функции обеспечения непроницаемости и прочности соединения. Непроницаемость обеспечивается заполнением конструктивного зазора специально подготовленной эластичной уплотняющей пастой. Зазор выполнен простым по конфигурации и с наименьшим периметром контура уплотнения. Это достигается выполнением выреза в обшивке переборки в виде прямоугольной узкой прорези, через которую проходит только стенка профиля, а горизонтальная полка (свободный попуск) в районе прохода плавно сужается до толщины вертикальной стенки.

Для исключения возможности появления проливаемых каналов под стенкой ребра и его приформовочными угольниками в месте пересечения ребра с переборкой в стенке, прилегающей к обшивке корпуса, делают полукруглый вырез, а приформовочные угольниками ребра прерывают перед вырезом. Полукруглый вырез, заполняемый уплотняющей пастой, является створным элементом (исполнителем), препятствующим распространению жидкости под стенкой ребра. Тогда жидкость из смежного отсека не может перетекать и под приформовочными угольниками, так как они прерваны на водонепроницаемой конструкции. Уплотняющее (герметизирующее) пасты изготавливают на основе смолы с добавлением наполнителя и пластификатора.

После заполнения термизирующей пастой всего периметра контура уплотнения соединение можно проверить на непроницаемость. При обнаружении течи следует устранить дефекты без повреждения соединяемых конструкций, применяющихся обычно три рубца соединительных угольников и накладок.

Широкое применение наклея метод предварительного светово-микроскопического контроля, заключающийся в проверке непроницаемости узлов в процессе их изготовления с помощью переносного источника света и ультрафиолетового облучателя, позволяющего увидеть микротрещины и другие дефекты.

После проверки непроницаемости производят установку деталей, обеспечивая при этом необходимую прочность ребер в узле заделки. К этим деталям относят приформовочные угольнички, обшивку, накладку. Они компенсируют потерю прочности ребра с уменьшенным попуском и создают монолитный узел заделки в месте пересечения ребра жесткости с непроницаемой конструкцией.

При продольной системе набора для передачи усилий от стоек переборок на жесткие связи корпуса и для создания опорного контура продольных ребер, проходящих через главные поперечные переборки, стойки переборок должны быть наведены на ребра же-

* Авторское свидетельство № 215741. Открытие, изобретение, промышленное образцы, товарные знаки, № 13, 1968.

стыки (рис. 72). Так как ребра палубы и ребра днища не всегда располагаются на одной вертикали, стойки могут получаться наклонными. В местах соединений необходимо создать жесткий узел, обеспечивающий передачу на стойку осевых усилий при сжатии (постановка в док) и срезающей силы — при действии поперечной нагрузки (гидростатическое давление). Для этого надо надежно связать стенку стойки с полкой ребра жесткости; соединять поясок стойки с ребром не требуется, так как концы стойки считаются свободно опираемыми на ребра.

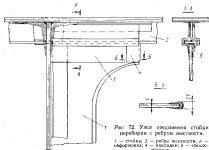


Рис. 72. Узел соединения стойки переборки с ребром жесткости.
1 — стойка; 2 — ребро жесткости; 3 — обжимная; 4 — накладная; 5 — стальной болтик.

Соединение осуществляют двусторонней приформовкой усиленных накладок с толщиной, равной толщине стенки стойки. Это усиление необходимо давать за-за поясок ребра, которое нужно обсабить при формовке накладок. В случае подрубив поясок на участке соединения накладки будут плоскими и их можно выполнять в половину толщины; при этом ослабляется ребро жесткости.

Для увеличения площади приформовки при невысоких стойках конец стоек выводят в виде фигурной кницы с плавным сужением пояска «на ус», уменьшением его толщины и притуплением стенки (так называемый «стапель»).

На высоких стойках, если приформовка имеет достаточную длину, можно устанавливать приставные кницы.

При поперечной системе набора стойки наводят на карлингс, стрингера, вертикальный киль и соединяют с ними с помощью переходных фигурных книц, выполненных заводно с продольными болтами (см. рис. 69). Остальные вертикальные стойки равномерно распределяются по полотнищу переборки.

Закрепление концов стойки выводят до узла (рис. 73). Для создания опоры стойки на ближайшем бимсе или флоре, по палубе (длинцу) к стенке и пояску стоек приформовывают шортыши с фигурными или приставными кницами. В некоторых случаях фигурные кницы стоек, выполненные как их продолжение, доводят до поперечной связи и соединяют с ней приформовочными угольниками и накладками.

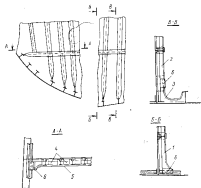


Рис. 73. Соединение стоек переборки с набором.

1 — стойка с монтажной кницей; 2 — стойка усиленная; 3 — рабочий участок; 4 — уголки шортыши; 5 — стальные кницы; шортыши; 6 — соединительные угольники и накладки.

Горизонтальные ребра можно устанавливать между вертикальными стойками переборки, расположенными у бортов, и бортовым продольным набором. Такие узлы характерны для переборки в носовой части судна, где борта имеют большой развал.

Для обеспечения боковой устойчивости стоек переборки при больших пролетах к значительных расчетных нагрузках между стойками устанавливают разрезные шельфы, имеющие профиль сечения такой же, как и у стоек рассматриваемого узла (см. рис. 75). Шельфы приформовывают к полотнищу ж к стойкам угольниками и закрепляют общей накладочной полосой, клупей по полкам шельфов.

Конструкции форштеня

Используются две конструктивные разновидности форштеней на малых пластмассовых судах: из дерева и из стеклопласта.

Деревянный форштеень соединяют с наружной обшивкой с помощью крепежа и обформовывают стеклопластиком. Недостатки

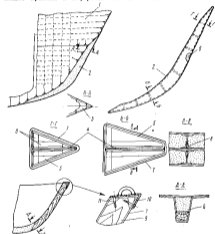


Рис. 74. Конструкция форштеня.

1 — общий вид форштеня судна с корытообразным форштенем; 2 — сердечник; 3 — брусчатка; 4 — прижимная балка; 5 — брусчатка; 6 — выемчатый; 7 — обформовка; 8 — приформовка; 9 — деревянный форштеень; 10 — брусчатка; 11 — выемка.

такого форштеня: разрывы стеклопластика при разбухании древесины; загнивание и возможность поражения древесины вредителями в случае повреждения стеклопластика; нарушение целостности наружной обшивки крепежом и ослабление его затяжкой с течением времени.

Форштеень из стеклопластика, образованный фланцами в виде бортовых секций, соединенными болтами и обформовкой, имеет тот же недостаток — возможность ослабления крепежа, ведущую к нарушению прочности и водонепроницаемости.

Указанные недостатки конструкций форштеней ялтин и катеров не препятствуют их применению, так как в эксплуатационных условиях малые суда не испытывают значительных нагрузок, а в межэксплуатационный период хранятся на берегу (в яхт-клубах и т. п.).

Для больших судов с корпусами из стеклопластика упомянутые конструкции форштеней не могут быть рекомендованы, так как они не отвечают повышенным требованиям к прочности, жесткости и эксплуатационной надежности. Наиболее приемлемой для больших пластмассовых судов является конструкция корытообразного форштеня (рис. 74) *.

Особенность этой конструкции — монолитность сердечника форштеня и наружной обшивки корпуса. Сердечник выполняется в виде тавровой балки переменного сечения из стеклопластика, которая подкреплена поперечными брусчатами с установленным между ними легким наполнителем из пенопласта. Снаружи сердечник обформован стеклопластиком по всему контуру. Поперечные сечения сердечника зависят от формы обводов корпуса.

При изготовлении носовой оконечности судна сердечник укладывают в форму. Он служит эталоном, на котором формируется наружная обшивка, имеющая в районе форштеня увеличенную толщину. С внутренней стороны сердечник соединяют с обшивкой приформовочными угольниками.

При формировании обшивки в матрице сразу же после укладки последних внутренних слоев внутри корпуса устанавливаются и обжимают заранее подготовленную балку сердечника (погонная по обводам, с предварительно проиндувированной зачисткой и обезжириванием). Затем заполняют конструктивные зазоры рубленым стекловолокном, пропитанным смолой, и устанавливают внутреннюю приформовку.

После закрепления установленного и заформованного сердечника брусчатками, забитыми концами и ребрами форштеень такой конструкции, надежно и монолитно закрепленный в корпусе, способен воспринимать эксплуатационные нагрузки (удары, морские волнения, лед и пр.) и передавать их на корпусные конструкции.

Конструкция боковых килей

Разработаны четыре основные разновидности боковых килей (рис. 75) судов из стеклопластика:

монокотловые боковые кили, выполненные в виде углов (гофры) наружной обшивки; внутреннюю поверхность обшивки в районе

* Авторское свидетельство № 228590. «Открытие, изобретение, промышленное образцы, творческие заявки, № 31, 1968.

каждой дополнительно подкрепляют несколькими слоями стеклоткани и заполняют эпоксидным компаундом, после чего вдоль киля укладывают слой стеклоткани, с перебором их на обшивку. Такую конструкцию применяют на катерах и яхтах, в частности, изготавливаемых английской фирмой Halmatic. Боковой киль в виде наружного гофра реконструируется одновременно как продольная жесткость, подкрепляющая поперечный набор корпуса. Недостаток

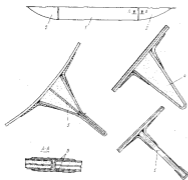


Рис. 75. Боковой киль судна из стеклоткани.

1 — средняя секция киля; 2 — наружные стороны киля; 3 — центральная часть киля; 4 — треугольный киль с дополнительным; 5 — треугольный киль со средней жесткостью; 6 — соединительные накладные.

конструкции — возможность повреждения наружной обшивки корпуса при ударе выступающей части киля о плавающие предметы и лед, а также при инвертовке, что может повлечь за собой нарушение водонепроницаемости обшивки корпуса, ремонт которой и восстановление бокового киля затруднительны;

пластинчатые боковые кили из листового стеклопластика, присоединяемые к наружной обшивке приформовочными угольниками; недостаток этой конструкции — малая жесткость, вследствие чего пластинчатые кили повреждаются и отрываются от обшивки. Для увеличения жесткости и прочности конструкции необходимо значительно увеличивать толщину пластинки, что нецелесообразно;

треугольные боковые кили, выполненные из оклеенного стеклопластиком пенопластового наполнителя, приклеиваемые торцевой поверхностью к наружной обшивке корпуса с приформовкой по обеим сторонам. Конструкция таких килей более жесткая, чем у пластинчатых. Треугольные боковые кили применяют на пластмассовых судах длиной до 25 м. К корпусу прикрепляют эпоксидным клеем предварительно изготовленный монолитный пенопластовый блок. Затем его обформовывают слоем стеклоткани, пропитанными связующим. Копы стеклоткани отгибают на 100—150 мм от торцевых кромок киля. Они и являются приформовочными соединительными элементами. Недостаток этой конструкции — ненадежное присоединение к корпусу, приводящее иногда к отрыву всего бокового киля от обшивки;

треугольные треугольные разрезные боковые кили; реконструируются для больших пластмассовых судов (длиной от 30 м и более), эксплуатирующихся в тяжелых морских условиях. Они обладают повышенной жесткостью, надежностью присоединения к корпусу и хорошей ремонтной способностью в случае повреждений *.

Конструкция этих килей состоит из сердечника и обшивки. Основой сердечника является плоская пластина из листового стеклопластика, на которую с двух сторон наклеивают пенопластовый наполнитель треугольной формы. Выдачу основания сердечника — 0,4—0,5 высоты киля. Испытания опытных конструкций показали, что целесообразно выводить высоту сердечника примерно равной основанию. Тогда боковой киль на половину высоты от свободной кромки остается плоским.

Такая конструкция увеличивает площадь соединения киля с корпусом, повышает жесткость у основания и создает гибкую кромку у конца консольной балки, при которой пластинчатая часть киля играет роль водопланного «пластинки», уменьшающего при качке изгибающий момент в задатке носовки. Сердечник служит узаном для формирования наружных слоев стеклопластика.

Присоединение боковых килей к наружной обшивке корпуса осуществляют с помощью усиленных приформовочных угольников. Предварительно производят подгонку, зачистку поверхности и наформовку на обшивку нескольких дополнительных слоев стеклоткани, обеспечивающих целостность наружной обшивки корпуса в случае отрыва бокового киля.

Для локализации распространения отрыва киля при действии на него чрезмерных поперечных усилий (ударов) рекомендуется по его длине вводить поперечные разрезы, т. е. выдолбить его в виде разрезной балки из отдельных приформовочных к обшивке секций, прочно но связанных между собой. Стыки секций перекрывают тонкими (3—4 мм) накладками, обеспечивающими сохранение единой формы килевой балки и отделяющимися вместе с ней в случае отрыва одной из наиболее нагруженных секций. Опыт эксплуата-

* Авторство свидетельства № 282351 «Открытие, изобретение, техническое решение, товарные знаки, № 30, 1970.

ции пластмассовых судов показывает, что указанная конструкция больших яхт проявила себя с лучшей стороны, выдержав суровые мореходные испытания.

Ледовые подкрепления корпуса

На пластмассовых яхточках и катерах специальные ледяные подкрепления не предусматривают. На судах специально больших, предназначенных для плавания в ледовых условиях, подкрепление корпуса в районе действия ледовой нагрузки выполняется в виде утолщенного пояса стеклопластиковой обшивки и доподольных балок, размеры и расположение которых определяют расчетным способом по действующим методикам (как для металлических судов).

Расчеты показывают, что дополнительные балки в районе действия ледовой нагрузки необходимо устанавливать в носовой оконечности при шпангах, превышающих 400—500 мм. Утолщение обшивки производится выполнять, в основном, не для восприятия давления льда, а для предохранения от износа при длительном плавании во льду.

Ледовый пояс пластмассового судна располагают в районе действия ледовой нагрузки (ледовой ватерлинии). Ширина его колеблется от 0,5 до 1,5 м, причем треть ширины расположена выше, а остальная часть ниже ватерлинии. Величина утолщения ледового пояса составляет от четверти до половины толщины основной обшивки. Для небольших судов (длинной до 20 м), корпуса которых формируют монолитно или изготавливают из двух половин с соединением по ДП, целесообразно выполнять ледовое подкрепление в виде дополнительных слоев между слоями основной обшивки.

У корпусов судов из стеклопластика, собираемых из отдельных донных и бортовых секций, увеличение толщины обшивки в районе ледового пояса приводит к увеличению толщины соединительных накладок и к снижению прочности соединений. Поэтому для этих судов применяют метод наформовки непрерывного ледового пояса по наружной поверхности обшивки (поверх соединительных стыковых и пазовых накладок, соединяющих собранный из секций корпус). В этом случае не требуется увеличивать толщину обшивки соединяемых секций и, следовательно, обеспечивается сохранение прочности формованных соединений — наиболее слабого места конструкции из стеклопластика.

Наформованный ледовый пояс увеличивает толщину наружной обшивки, предохраняет ее от повреждающего износа (задиры, отслоения, истирания и пр.), воспринимает ледовую нагрузку, передает ее на жесткие связи корпуса и предохраняет от повреждений соединительные накладки наружной обшивки, расположенные с внешней стороны корпуса.

Опыт эксплуатации пластмассовых судов с наформованным ледовым поясом показал, что недостаточно в носовой оконечности располагать один продольный слой стеклопластика. Иногда при пла-

вание в битом льду, при ходе на буксире, а также во время подъема якорей в условиях дрейфа судна носовая часть ледового пояса повреждается и частично ослабляется.

Для увеличения прочности и лучшей передачи продольных слоев ледового пояса в носовой оконечности, где действуют наибольшие нагрузки, следует дополнительно подкреплять носовую часть ледового пояса диагонально-расположенными слоями стеклопластика, направленными непрерывно с борта на борт и ослабляющими форштевень с наклоном в корпус под углом 45° к ОУ (рис. 76).

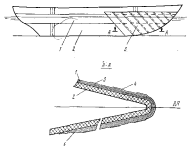


Рис. 76. Ледовый пояс пластмассового корпуса.

1 — продольный пояс; 2 — наружная обшивка корпуса; 3 — донно-палубная балка; 4 — бортовой пояс; 5 — соединительный слой.

Эти диагональные слои наформовывают поверх продольных слоев ледового пояса по методу «рыбий чешуя», т. е. таким образом, чтобы каждая носовая кромка предыдущего слоя была перекрыта кормовой кромкой последующего слоя. Такое расположение слоев предохраняет их от задиры и отслоения при ходе судна. Диагональные слои располагают по длине от форштевня примерно до третьего теоретического шпангоута (с перекрытием за ближайшую в этом районе переборку), а по высоте затягивают выше кромки продольных слоев и доводят до уровня задкрепления борта в районе якорного устройства. Толщина стеклопластика диагональных слоев составляет около половины толщины продольных слоев.

Крепление привальных брусков

Разработаны многочисленные конструкции крепления привальных брусков к корпусу из стеклопластика. На малых судах привальные бруски являются составной частью соединений

борта с палубой (см. рис. 65). Недостаток этих узлов — передача усилий от привальных брусков, предназначенных для восприятия ударов при швартовке судна, на болты и клееные швы, что может нарушить прочность соединений. Поэтому рекомендуется не совмещать крепления привальных брусков с соединителями корпусных швартовых.

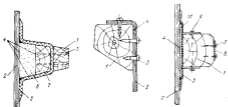


Рис. 77. Узлы крепления привальных брусков.

1 — привальный брус, 2 — борт, 3 — штурвал, 4 — гайка; 5 — приформовка; 6 — теплозащитный экран; 7 — деревянный вкладыш; 8 — обшивка; 9 — борт; 10 — обшивка.

Привальные брусья располагают в районе палубы. Их нужно надежно связывать с корпусом. Однако при возникновении разрушающих нагрузок брус и его крепление не должны повреждать корпус. В случае необходимости поврежденный участок привального бруса должен быть легко демонтирован для ремонта.

На плавках и катерах, не имеющих палубы, деревянный привальный брус крепят к фланцу борта шурутами. Для больших судов применяют крепление бруса на шурутах к приформованному к обшивке корпусу трехслойному основанию кле на болтах к приформованному к обшивке металлическим обоямам (рис. 77).

Узел крепления пиллерса

Трубчатые пиллерсы из стеклопластика не нашли широкого применения из-за больших габаритов труб и возникающих трудностей по обеспечению их надежного крепления к набору.

Устойчивость пиллерса зависит от его жесткости, которая находится в прямой зависимости от модуля нормальной упругости материала и момента инерции сечения. Ввиду того, что модуль упругости стеклопластика имеет относительно низкое значение, для обеспечения необходимой жесткости приходится увеличивать диаметр и толщину трубы, что повышает вес конструкции и уменьшает полезный объем помещений.

Для закрепления концов пиллерса из стеклопластика к корпусным конструкциям первоначально применяли обычную приформовку трубы по контуру приформовочным угольником. Однако испытания показали, что приформовочный угольник способен воспринимать и передавать лишь незначительные нагрузки, при возрастании которых трансформирует его отрыв и конец пиллерса оказывается незакрепленным.

В некоторых случаях к концам трубы на приформовку устанавливали переходные фланцы из стеклопластика, которые присоединяли к полкам набора и к настилу болтами. Однако и в этом случае не обеспечивается надежное соединение пиллерса с палубой.

Целесообразно выполнять пиллерсы из алюминиево-магниевых сплавов (рис. 78), что приводит к снижению их веса, уменьшению диаметра и позволяет их надежно крепить к палубам. Преимуществом металлических пиллерсов в составе пластмассового корпуса является отсутствие у них явления ползучести под действием больших и постоянных сжимающих нагрузок, что свойственно конструкциям из стеклопластика.

Пиллерсы устанавливают на пересечении карлингса с бимсом. В этом случае непрерывный поперек карлингса выполняют уширенным в виде восьмиугольника, к которому присоединяют с помощью двусторонних накладок уширенное носком переходных концы бимса. Размеры уширенных поперек карлингса и бимса определяют исходя из возможности размещения четырех металлических башмаков-угольников, которые стягивают болтами через деревянные прокладки (упругие элементы), обжимающие с двух сторон стенку карлингса.

Зазоры между концами угольников и бимсами заполняют выравнивающим приформовочным из стеклопластика. Крепят фланцы пиллерса к установленным на пересечении карлингса и бимса подкрепляющим башмакам болтами через деревянные обжимные прокладки.

В случае необходимости, для подгонки пиллерса по высоте между его фланцем и плоскостью карлингса вводят утолщающую прокладку.

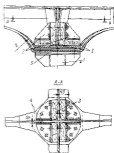


Рис. 78. Узел крепления пиллерса.

1 — пиллерс, 2 — фланец угольника, 3 — прокладка, 4 — карлингс; 5 — приформовка, 6 — восьмиугольный приформовочный угольник.

Крепление крошителей гребных валов

Крепление крошителей гребных валов к пластмассовому корпусу относится к типу неразъемных болтовых соединений, в которых болты являются основными силовыми элементами, передающими на корпусные конструкции действующие усилия (рис. 79).

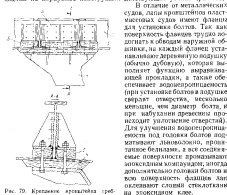


Рис. 79. Крепление крошителя гребного вала.

1 — крошитель; 2 — структура; 3 — башмак; 4 — гайка; 5 — прокладок.

поддерживающей балки, и башмаки между собой соединяют болтами. Между башмаками и обшивкой устанавливают выровненные деревянные прокладки, создающие упругий обжим всего соединяемого пакета при затяжке болтов. Крепление выполняют гайкой и контргайкой.

Узел крепления крошителей необходимо выполнять тщательно, учитывая ответственность конструкции и работу ее в зоне повышенной вибрации.

Крепление к корпусу деталей насаждения (узлы)

Присоединение деталей насаждения к корпусу из стеклопластика осуществляют приклеиванием, приформовкой, клеевой, болтами и шпильками, а также комбинированными способами.

В отличие от металлических судов, лапы крошителей пластмассовых судов имеют фланцы для установки болтов. Так как поверхность фланцев трудно подогнать к обшивке наружной обшивки, на каждый фланец устанавливают деревянную подушку (обычно дубовую), которая выполняет функцию выравнивающей прокладки, а также обеспечивает водонепроницаемость (при установке болтов в подушке сверлят отверстия, несколько меньше, чем диаметр болта, и при набуживании древесины происходит уплотнение отверстий). Для удлинения водонепроницаемости под головки болтов подматывают льняное волокно, пропитанное бальзамом, а все соединяемые поверхности промазывают эпоксидным компаундом, иногда дополнительно головки болтов и всю поверхность фланцев лап оклеивают слоем стеклоткани на эпоксидном клее.

Фланцы лап крошителей с металлическими башмаками, расположенными с обеих сторон

Детали из стеклопластика крепят с помощью приформовки. Широко применяют приклеивание металлических деталей к корпусу клеями, или пастами с последующей приформовочной слоем стеклоткани, пропитанной связующим.

Применяемые жидкотекучие клеи состоят из композиции эпоксидной смолы, отвердителя, пластификатора и наполнителя.

Для склеивания узла спинального прижимного остова, так как достаточная полимеризация клея требует точной фиксации положения склеиваемых конструкций.

Паста представляет собой вязкую клеющую массу. Поэтому при установке легких деталей (гольцы, лопки, шпоб-мости, кассеты и т. п.) не требуется применять специальную прижимную оснастку, так как деталь фиксируется за счет вязкости пасты. Если возможно, для прижимки используют монтажные болты или шпильки.

В качестве связующего можно использовать композиции на основе полиэфирных или эпоксидных смол.

Приклеивание с помощью клея или пасты без приформовки применяют при установке значительно нагруженных деталей насаждения.

Приформовку применяют для присоединения к корпусу деталей насаждения, оборудования, устройств, фундамента и дельных вещей, испытывающих значительные нагрузки. Предварительно прижимание перед приформовкой играет роль прижимки. Приформовку выполняют из того же стеклопластика, на основе которого выполнял корпус судна; для приформовки и корпуса используют одно и то же связующее.

Для приформовки металлических деталей и узлов крепящий насаждения и фундаментов в пластмассовому корпусу используют связующие на основе эпоксидной смолы ЭД-6, обеспечивающие лучшую (чем полиэфирные смолы) адгезию металлических поверхностей к стеклопластику и защиту от коррозии.

Для склеивания деталей арматурой или на эпоксидной основе (эпоксидные компаунды К-115, К-153 и др.).

Широкое применение находят менее токсичные комбинированные эпоксидно-полиамидные клеи составы ЭП-1, ЭПА, ЭПК (табл. 15 и 16).

Состав клея ЭП-1

Таблица 16

Компоненты	Состав клея		ГОСТ или ТУ
	всего частей	%	
Эпоксидная смола ЭД-6 Низкомолекулярный полиамид Л-18 или Л-19	100	43,4	ГОСТ 10287—63 ВТУ П-299—64
	80	34,6	
Клеящий состав полиамидный (ЛК-2, ЛК-3) или карболаймент 490	50	21,8	Клея по ГОСТ 9977—59, приклеиваемый по ГОСТ 870—64

Состав смолы для ЭПА и ЭПК

Компоненты	Состав смолы				ГОСТ или ТУ
	ЭПА		ЭПК		
	количество частей	%	количество частей	%	
Смола ЭП-5	100	50,5	100	25	ГОСТ 10287-63
Неполимеризуемый пластификатор Д-18 или Д-19	80	40,4	180	45	ВТУ П-293-54
Добавка титанистой смолы Э-181	18	8,1	—	—	ГОСТ 2768-60
	—	—	120	30	ВТУ П-251-59

Для прикатки деталей и узлов перед приформовкой используют пасту (табл. 17), приготавливаемую на основе клея ЭП-1. Толщина клеевой пленки не должна превышать 0,3 мм, а толщина слоя пасты — 1 мм.

Таблица 17

Состав прикаточной пасты

Компоненты	Состав пасты		ГОСТ или ТУ
	количество частей	%	
Эпоксидная смола ЭП-5	190	43,4	ГОСТ 10287-63
Неполимеризуемый пластификатор Д-18 и Д-19	80	18,2	ВТУ П-255-54
Аэросил 380	10-12	2-4	СТУ 75-1472-65

Крепление деталей и узлов осуществляют через фланцы или планки, обеспечивающие достаточную площадь прилегания и приформовки (рис. 80).

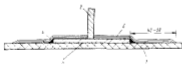


Рис. 80. Узел приформовки деталей крышки с фланцем.

1 — основа конструкции; 2 — металлическая деталь; 3 — приформовка; 4 — стягивающий болт.

После присоединения металлической детали к корпусу с помощью клея или пасты приформовку первых двух-трех слоев стеклоткани производят на эпоксидном связующем, а остальные слои приформовывают на полиэфирной смоле.

Приформовка деталей к корпусу обеспечивает необходимую прочность соединения. Ее элементы определяют расчетом в зависимости от действующей нагрузки и сочетания склеиваемых материалов. Обычно толщину приформовки принимают равной толщине фланца



Рис. 81. Узел приформовки крышки к корпусу.

1 — основа; 2 — крышка; 3 — приформовка; 4 — болт; 5 — стягивающий.

(4—6 мм). Ширину приформовки на каждую сторону перебора принимают равной 40—60 мм (так же как для приформовки набора), т. е. около 10 толщин.

Клеевой слой служит для фиксирования положения детали, установленной на корпусной конструкции. В расчете прочности его

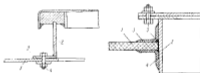


Рис. 82. Узел крепления крышки

клеевым водоразрывом с монтажным болтом.

1 — основа; 2 — крышка; 3 — болт; 4 — планка.

Рис. 83. Узел крепления металлической горловины.

1 — основа; 2 — горловина; 3 — приформовка; 4 — болт; 5 — стягивающий.

обычно не учитывают. Для скругления острых углов прикатывают стеклоткань, пропитанную связующим; заполненное им конструктивные зазоры создают плавные переходы для стеклоткани приформовки.

Ниже приведены примеры крепления к пластмассовому корпусу отдельных деталей и узлов:

крепление водоразрывной крышки представлено в нескольких вариантах; выбор варианта крепления крышки зависит от условий ее установки, например, с помощью клея и приформовки (рис. 81); с помощью клея и монтажных болтов (рис. 82). В расчет прочности входит только прочность клеевого шва, а прочность бол-

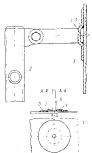


Рис. 84. Узел крепления бруса к деревянной стойке.

1 — переборка (палуба); 2 — шпангоут; 3 — гайка; 4 — шайба; 5 — стержень.

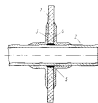


Рис. 85. Узел крепления одиночной трубы при проходе ее через переборку (два фланца).

1 — переборка; 2 — труба; 3 — гайка; 4 — шайба; 5 — стержень.

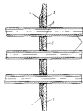


Рис. 86. Узел крепления лонжерона к переборке.

1 — переборка; 2 — труба; 3 — гайка; 4 — шайба; 5 — стержень.



Рис. 87. Узел крепления концыта мебели к палубе.

1 — палуба; 2 — концыт; 3 — проформинг; 4 — шайба; 5 — стержень.

того соединения в расчете не учитывают. Шаг болтового соединения выбирают исходя из условий создания необходимого давления в клееном шве;

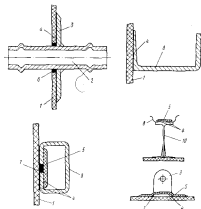


Рис. 88. Крепление штурера, скоб и обуви на шпангоут и проформинг.

1 — переборка; 2 — штурер; 3 — фланец; 4 — шайба; 5 — проформинг; 6 — стержень; 7 — стержень; 8 — скоба; 9 — обувь; 10 — балка мебели.

- крепление горловина (рис. 83);
- крепление трапа и деревянной стойки (рис. 84);
- крепление одиночной трубы и лонжерона к переборке (рис. 85 и 86);
- крепление концыта мебели (рис. 87);
- крепление штурера, скоб и обуви (рис. 88).

Конструкции фундаментов и крепление их к корпусу

Проектирование конструкций фундаментов под главные и вспомогательные механизмы, устройства и оборудование для пластмассовых судов имеет специфические особенности, связанные

со свойствами стеклопластика как конструктивного материала, со способами формования изделий и их присоединения к корпусу.

Фундаменты обеспечивают передачу действующих усилий от механизмов и оборудования на корпус. Они должны быть достаточно прочными и жесткими.

Стеклопластик, обладающий высокими прочностными свойствами по сравнению с металлами, имеет явное значение модулей нормальной упругости и сдвига, что существенно сказывается на жесткости конструкций, для повышения которой требуется увеличение высот и толщин элементов ба-

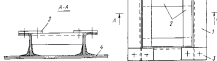


Рис. 89. Фундамент из стеклопластика.

1 — фундамент; 2 — профили; 3 — кавадр; 4 — выступ.

лок. Выше говорилось, что слабым местом конструкций из стеклопластика являются соединения, работающие на отрыв. Это следует учитывать при проектировании фундамента и подкреплений. Нужно принимать во внимание большую податливость и деформационную способность (малую жесткость) стеклопластика, его слоистость и ползуемость, слоистость, сниженно прочностные характеристики от воздействия среды, податливость материала при затяжке болтами, трудности при технологической обработке поверхности и невозможность создания чистых поверхностей после обработки.

На судах из стеклопластика применяют фундаменты из стеклопластика; композитные фундаменты (из стеклопластика с металлическими элементами); металлические фундаменты.

Разработка и изготовление фундаментов из стеклопластика и присоединение их к корпусу принципиально не отличаются от проектирования и изготовления продольного и поперечного набора корпуса.

К преимуществам стеклопластиковых фундаментов относят: однородность с материалом корпуса; надежность присоединения к корпусу приформовкой; возможность использования балок продольного и поперечного набора в качестве элементов фундамента; изготовление фундаментов в чистый размер без припуска на обработку; несложность подготовки фундаментов к корпусу; возможность создания местных утолщений и выполнения плавных переходов. Поэтому значительную часть фундаментов и крепежных деталей насыщения вы-

полняют из стеклопластика. Для изготовления фундаментов (как и для набора) требуются специальные пресс-формы.

При разработке конструкции набора, особенно в насыщенных металлами и приборами помещениях (машинные отделения, посты и др.), следует заранее учитывать необходимость установки фундаментов в заданной балке набора соответствующие размеры и конфигурацию, а также учитывать возможность доступа к ним для выполнения приформовки.

Для тяжелых нагруженных фундаментов использование стеклопластиковых конструкций иногда приводит к увеличению веса и усложнению узлов за счет применения дополнительных кавов, бракет, утолщений, приформовок и накладок, устанавливаемых для увеличения жесткости. Поэтому фундаментам из стеклопластика целесообразно применять для установки оборудования малого и среднего веса (до 200—300 кг), преимущественно не приаппаратного.

В конструктивных фундаментах (рис. 89) используют профили из стеклопластика — тавровые и уголки. В необходимых местах к ним приформовывают концы и выводят усилия в виде приформовок. Выбор элементов приформовок для фундаментов и расчеты их прочности производят так же, как для балок набора.

В случаях, когда требуется повышенная жесткость и более точная подготовка поверхности под опоры устанавливаемого на них механизма, в конструкции из стеклопластика заформовывают металлические детали — втулки, плавки, уголки и др. В конструкции тяжело нагруженных фундаментов (под главные механизмы, джонель-генераторы, сложные устройства), для которых используют стрингеры, фарты и другие балки корпусного набора, заформовка металлических элементов в полки балок обязательна, так как под действием усилий от нагрузки болтов и внешних усилий стеклопластик за время службы конструкции подвергается деформации и усадке, которые приводят к ослаблению крепления механизмов. Металлические элементы, имеющие вид втулки с упорным пояском, устанавливают на клею в заранее просверленные отверстия и заформовывают слоем стеклопластика, пропитанной связующим.

Подготовку поверхности, разметку, установку и заформовку втулок производят по специальной технологии [54]. Втулки из алюминий-магнийных сплавов легко обрабатываются, а сверление и них отверстий при монтаже механизмов затруднений не вызывает. Поэтому они чаще более широкое применение, чем стальные, для крепления главных и вспомогательных механизмов, имеющих большое число опорных элементов (рис. 90).

Стальные втулки применяют для особо нагруженных узлов и при малом количестве опор, например, при креплении упорных подшипников, подвесах рам двигателей и специальных устройств, передающих на корпус большие сосредоточенные нагрузки.

Кроме фундаментов из стеклопластика на пластмассовых судах нашли широкое применение конструкции из металла (рис. 91), особенно из алюминий-магнийных сплавов, простые в изготовлении, позволяющие связать все фундаменты и те выделяющие вредные

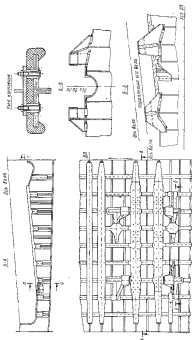


Рис. 38. Склеиваемый фундамент под лентый валитель с армированием ступицей.

летучих веществ. Металлические фундаменты для приклейки или приформовки их к корпусу судна имеют отогнутые или приваренные фланцы шириной 30—50 мм на сторону для выполнения приформовки или установки монтажных болтов, создающих необходимое давление при прикреплении к носкам набора.

Фланцы фундаментов приклеивают эпоксидным клеем с прокладкой нескольких слоев стеклоткани и затем образуют стеклопластиком. Для крепления металлических фундаментов к обшивке применяют клево-болтовые соединения; с обратной стороны укладывают на клею металлические листы, в необходимых случаях имеющие металлический набор.

Корпусные конструкции в районе болтовых соединений с большим количеством болтов должны иметь местные утолщения. Под головками болтов, непосредственно соприкасающихся со стеклопластиком, необходимо устанавливать металлические прокладки или шайбы увеличенного диаметра. Для обеспечения водонепроницаемости корпусных конструкций болтовые соединения устанавливают с прокладкой клеем и с подложкой под головки льноволокна на бортах.



Рис. 39. Угол крепления металлического фундамента к набору.
1 — фундамент; 2 — прокладка; 3 — клей; 4 — приформовка.

ГЛАВА 5.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТИПОВ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сложность исследования клеевых, в том числе формируемых [10], соединений обусловлена факторами, влияющими на их прочность. Эти факторы зависят от клея, его физико-механических свойств, геометрии и адгезионной прочности, смачивающей способности и др. На прочность соединения влияют физико-механические и физико-химические свойства соединяемых материалов, характер склеиваемых поверхностей (пористая, гладкая), геометрические размеры и форма элементов соединений. Прочность соединений зависит от технологических факторов: подготовки поверхности к склеиванию, температуры и влажности воздуха, величины прикладываемого давления и т. п. Большое значение имеют условия эксплуатации соединения, вид и характер нагружения, действие среды и т. п.

О КЛАССИФИКАЦИИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОГО КОРПУСА

Многочисленные эксперименты и практические обработки показали, что клеевые соединения стеклопластиков на существующих клеях и методах соединения (технологии, конструктивного оформления) неравнопрочны основному материалу. Попытка усилить соединения связала с усложнением конструкций и технологией их выполнения.

Сами соединения, в зависимости от условий нагружения, также различаются по прочности. Так, например, соединения, работающие на отрыв, имеют существенно более низкую прочность, чем соединения, работающие на сдвиг. Это объясняется сложностью обеспечения в реальных конструкциях равномерности распределения напряжений при отрыве [10], [31].

Соединения, работающие на сдвиг при растяжении (например, соединения с накладками) менее прочны, чем аналогичные соединения, испытывающие изгибные деформации. Эти обстоятельства требуют особого подхода к оценке несущей способности и классификации соединений и составе судового пластмассового корпуса.

Целесообразно (как это делали при использовании заклепок) прочность клевого соединения, например, каждого стыка двух листов днища, борта, палубы и т. п., рассматривать с точки зрения местной и общей прочности.

В первом случае рассматривается только прочность соединения пары элементов (например, листов) без учета влияния на эту прочность других элементов той же связи. Общая же прочность соединения оценивается прочностью всей связи (всей палубы или всего днища) по сечению, ослабляемому этим соединением.

Расчет местной и общей достаточной прочности, исходя из условий равной или достаточной прочности. При расчете на равную прочность нужно считать равными прочность соединяемой и прочность соединяемых листов.

При расчете на достаточную местную прочность следует определять прочность соединения, достаточную для восприятия действующих на данное соединение усилий.

Если подходить с указанных позиций к оценке прочности стыковых соединений с двумя накладками в крайних связях (днища и палубы), то получим условие достаточной прочности:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{\text{дн}}^{\text{раст}} &= \sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{сж}} \cdot \frac{Z_{\text{дн}}}{Z_{\text{дн}}} \leq \sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{раст}} \\ \sigma_{\text{пал}}^{\text{раст}} &= \sigma_{\text{пал.кл.}}^{\text{сж}} \cdot \frac{Z_{\text{пал}}}{Z_{\text{пал}}} \leq \sigma_{\text{пал.кл.}}^{\text{раст}} \end{aligned} \right\} (3.1)$$

где $\sigma_{\text{дн}}^{\text{раст}}$ и $\sigma_{\text{пал}}^{\text{раст}}$ — действующие напряжения в днище и палубе при растяжении;

$\sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{сж}}$ и $\sigma_{\text{пал.кл.}}^{\text{сж}}$ — допускаемые напряжения в тех же связях при сжатии;

$Z_{\text{дн}}$ и $Z_{\text{пал}}$ — расстояния тех же связей от нейтральной оси;

$\sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{раст}}$ и $\sigma_{\text{пал.кл.}}^{\text{раст}}$ — допускаемые напряжения для соединений при растяжении.

Экспериментальную проверку прочности таких соединений и оценки степени прочности осуществляют обычно на образцах, подвергнутых растяжению (сжатие обеспечивает равномерность соединений и основного материала за счет усаживания стыка, заранее пропитанных стекловолокном).

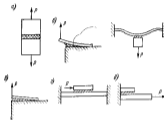


Рис. 10. Типы клеевых соединений листов пластмассы: а — стыковой; б — стыковой лист пластмассы подвергается изгибному ослаблению; в — жесткий лист равномерно отгружается от местного ослабления; г — соединение с накладками; д — соединение с усиливающей накладкой.

Предполагая равными коэффициенты запаса для основного материала и для соединений [16], [16], [62], с учетом снижения их свойств в результате увлажнения, старения и т. п., а $Z_{\text{дн}} \approx Z_{\text{пал}}$ (что близко к действительности), то получим величину достаточной прочности соединения при испытании образцов на растяжение:

$$\sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{раст}} \approx \sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{сж}}$$

где $\sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{сж}}$ — предел прочности стеклопластика при сжатии, равный $\approx 75\% \sigma_{\text{дн.кл.}}^{\text{раст}}$.

Так как для относительно больших судов устойчивости при обходе волгов, то величина действующих напряжений будет существенно меньше допустимых. Поэтому требования к прочности соединений могут быть ослаблены.

Известно, что большинство корпусных конструкций подвергается действию поперечных нагрузок (γ малых судов такая нагрузка определяющая) и претерпевает деформацию изгиба. Клеевой шов

в соединяемых листах обшивки, набора с обшивкой и т. п. — так же, как и при растяжении нагружается сдвигающими усилиями. Однако использовали результаты исследования работы клевого соединения при растяжении для задания параметров конструкции склеиваемых конструкций и нельзя считать верным.

В каждом судовом корпусе существует большое многообразие конструктивных решений клеветых соединений и условий их нагружения. Это обуславливает невозможность однозначного решения вопроса о напряженном состоянии клевого шва. Для того чтобы представить напряженное состояние клевого шва в любой его точке, нужно в первом приближении определить напряжения в клеевом шве от каждой из нагрузок в отдельности и затем их просуммировать. Характер приложения этих нагрузок и конструкция соединяемых элементов определяют нагруженность клевого шва, т. е. тип клевого соединения. Таким образом, под типом клевого соединения понимают не только вид соединения элементов (конструкция соединения), но и способ приложения нагрузок [10]. Предлагается возможным классифицировать соединения на пять основных типов (рис. 92) и разработать соответствующие расчетные схемы для оценки напряженного состояния клевого шва.

Ниже рассмотрены отдельные типы соединений судовых конструкций и приведены рекомендации по оценке их напряженного состояния.

§ 30.

ТИПЫ СОЕДИНЕНИЙ

Стыковые соединения с накладками при растяжении (сжатии)

Область применения таких соединений — стыковые соединения элементов конструкций (листов обшивки, стенок и толстых балок набора и т. п.). Соединения работают в условиях растяжения, главным образом при обшивке корпуса судна.

При определении напряжений в клеевом шве предполагается, что соответствующим выбором технологических процессов и качеством выполнения работ обеспечивается хорошее качество склейки, т. е. не учитывается влияние возможных дефектов.

Работа такого типа соединения обусловлена передачей нормальных нагрузок с одного элемента на другой при помощи касательных усилий, возникающих в склейке.

Характер распределения и величина напряжений в клеевом шве зависит от геометрических и жесткостных параметров элементов соединения, определяющих его расчетную схему [10], [31]. При этом может не учитываться деформация клеевой прослойки и деформация соединяемых элементов (два крайних случая).

Условия, определяющие возможность применения первого решения

$$\frac{\delta_1}{L_1} < \frac{\delta_2}{L_2} \text{ и } \frac{\delta_1}{\alpha_1} < \frac{\delta_2}{\alpha_2}; \quad (5.2)$$

второго решения

$$\frac{\delta_1}{E_1} < \frac{\delta_2}{E_2} \text{ и } \frac{\delta_1}{\alpha_1} < \frac{\delta_2}{\alpha_2}. \quad (5.3)$$

Здесь δ , E и G — толщины и упругие параметры соединяемых листов (эле), накладок (ене) и клевого шва (евш).

При относительно тонких и жестких прослойках клеи соединения можно рассматривать как монолиты. К ним можно отнести соединения многих видов пластмасс, близких по свойствам к клею.

В этом случае увеличение длины накладок увеличивает касательные напряжения и при определенной ее длине может быть обеспечено условие равнопрочности. При расчете соединений (рис. 93) с учетом упругих характеристик клевого шва, определяющих величину, закон распределения касательных напряжений вдоль шва имеет вид

$$\tau_x(x) = \frac{P_0}{V \sqrt{K}} \frac{1}{e^{-ax} - e^{-bx}} \left[(1 + \psi e^{-bx}) e^{ax} + (1 + \psi e^{-ax}) e^{-bx} \right], \quad (5.4)$$

где $M = 2K(1 + \psi)$;

$$K = \frac{G_0}{\delta_0 \delta_1};$$

$$\psi = \frac{0,58L_1}{L_2};$$

$$B_1 = E_1 \delta_1;$$

$$B_2 = E_2 \delta_2.$$

При однородных материалах, возмем $a = 2\sqrt{K}$ и $\delta_1 = 0,5\delta_2$, получим:

$$\tau_x(x) = \frac{P}{2} \sqrt{K} \frac{1}{e^{-ax} - e^{-bx}} \left[(1 + e^{-bx}) e^{ax} + (1 + e^x) e^{-bx} \right]. \quad (5.5)$$

Напряжения в районе стыка листов x на конце накладок, т. е. при $x = 0$ и $x = l$

$$\tau_x(0) = \tau_x(l) = \frac{P}{2} \sqrt{K} \frac{1}{e^{-ax} - e^{-bx}} (2 + e^{-ax} + e^{ax}). \quad (5.6)$$

Если выразить значение коэффициентов, входящих в (5.5) и (5.6), через безразмерный параметр $j = \frac{4G_0 \delta_1^2}{K_0 \delta_0}$, то после некоторых преобразований выражения для определения напряжений в клеевом шве могут быть представлены в виде

$$\tau_x(x) = \frac{P}{4j} \sqrt{j} \frac{1}{e^{-jx} - e^{-j^2x}} \times \left[(1 + e^{-j^2x}) e^{jx} + (1 + e^{jx}) e^{-j^2x} \right] \quad (5.7)$$

$$\tau_x(x) = \tau_x(0) = \frac{P}{2l} \left(1 - \frac{1}{e^{jT} - e^{-jT}} \right) (2 + e^{jT} + e^{-jT}). \quad (5.8)$$

Из (5.8) видно, что максимальные напряжения при увеличении l будут снижаться до тех пор, пока они не достигнут определенной величины, обуславливаемой значением j . Дальнейшее увеличение длины накладки не уменьшит максимальных напряжений, и соединение исчерпает свою несущую способность. Выражение для определения максимальных напряжений принимает в этом случае простой вид

$$\tau_{x_{\max}} = \frac{P}{2l} \left(1 - \frac{1}{e^{jT}} \right). \quad (5.9)$$

Используя (5.9), можно проанализировать влияние различных параметров соединения на прочность клевого шва.

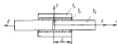


Рис. 93. Соединение с накладкой.

Условие, при котором обеспечивается равномерность распределения касательных напряжений по площади склейки, можно определить методом последовательных приближений из выражения

$$j \left(2 + e^{-jT} + e^{jT} \right) = 2(e^{jT} - e^{-jT}) \quad (5.10)$$

и записать его в виде $\sqrt{j} \approx 0,75$.

Критерий j содержит в себе величину G_0/δ_0 , определение которой связано с известными трудностями, так как клей в присутствии склеиваемых материалов приобретает новые свойства, и, кроме того, определить точно толщину клевого шва не представляется возможным.

Для нахождения величин G_0/δ_0 могут быть использованы зависимости (5.8) и результаты испытаний образцов при различных длинах накладки. Выражение (5.9) получено из условия $\sqrt{j} \geq 5$. Длина накладки, обуславливающая полностью равномерную нагрузку $\tau_{x_{\max}} = \text{const}$, снижается с экспериментальной кривой. Тогда в первом приближении при оптимальной длине накладки $\frac{G_0}{\delta_0} \approx 6 \frac{B_0}{P}$. При наличии экспериментальных кривых для других δ_0 значение G_0/δ_0 может быть уточнено из решения уравнения (5.9) методом последовательных приближений. Определить оптимальную длину l накладки таких соединений стеклопластика из стеклопластика и из несущую способность можно по графику (рис. 94).

Из приведенных выражений видно, что несущая способность соединения определяется величиной максимальных напряжений, возникающих на конце накладки. Одним из путей повышения прочности соединения может явиться путь, основанный на выравнивании деформаций соединяемых листов и накладки, и тем самым и напря-

жений по склейке. Этого можно достичь изменением сечений склеиваемых элементов. Способ находит применение при склеивании толстолистовых материалов аналогично, когда концы их сводят на ус. Такое исполнение обеспечивает снижение концентрации напряжений, так как сечение обоя склеиваемых элементов уменьшается, в известной мере, пропорционально изменению нагрузки. При формованных соединениях накладки также имеют переменное сечение по длине.

Представляет определенный интерес аналитическое определение характера изменений формы накладки, обеспечивающее выравнивание касательных напряжений.

Форма накладки должна обеспечить

$$\tau(x) = \text{const}.$$

Это условие для системы (см. рис. 93) при одной накладке записывается

$$\int_0^l \frac{1}{B_0(x)} \left(\int_0^x \tau_0(x) dx \right) dx = \int_0^l \frac{1}{B_0(x)} \times \times \left(P - \int_0^x \tau_0(x) dx \right) dx, \quad (5.11)$$

где $B_0(x)$ — жесткость накладки в сечении x .

Выражаем $B_0(x)$ через B_0 , полагая, что

$$B_0(x) = KB_0 \int_0^x \tau_0(x) dx, \quad (5.12)$$

где K — некоторый коэффициент.

Подставляя это значение в (5.11), получим

$$\int_0^l \frac{1}{KB_0} dx = \int_0^l \frac{P}{B_0} dx - \int_0^l \frac{1}{B_0} \left(\int_0^x \tau_0(x) dx \right) dx. \quad (5.13)$$

Учитывая, что $P = \text{const}$; $B_0 = \text{const}$; $\tau_0(x) = \frac{P}{j} = \text{const}$, интегрируем правую часть уравнения (5.13), после преобразования получим

$$\frac{P}{B_0} \int_0^l dx - \frac{P}{B_0} \int_0^l \int_0^x dx dx = \frac{P}{B_0} \int_0^l x dx. \quad (5.14)$$

Из (5.12) следует, что $\frac{1}{K} = \frac{P}{j}$ и, подставляя в (5.14), окончательно получим уравнение, описывающее необходимое изменение сечения накладки

$$B_0(x) = \frac{B_0(j - x)}{j - x}. \quad (5.15)$$



Рис. 94. График для определения длины соединений с накладкой.

l — толщина соединяемых листов, мм; j — длина накладки, мм.

или при $E_0 = E_1$

$$\delta_1(x) = \frac{\delta_0(1-x)}{x}. \quad (5.16)$$

Из этого уравнения видно, что изменение сечения накладной должно происходить по кривой гиперболического типа или приближающейся к ней. Обычно для соединения с двумя накладками максимальная толщина накладок (в месте стыка) не превышает половины толщины листа, поэтому изменение сечения следует ограничивать только этим участком (до $\delta_1 = 1/2\delta_0$).

Кроме сдвигающих усилий в соединении такого типа могут возникнуть отрывающие усилия, перпендикулярные плоскости листа. Эти усилия возникают в результате изгиба накладок, вызываемого неравномерными касательными напряжениями на одной ее кромке.

Дифференциальное уравнение изгиба накладной при действии сдвигающих усилий имеет вид

$$D_0 V''_1(x) = \frac{1}{2} \delta_0 \int_0^x \tau_x(x) dx - \int_0^x dx \int_0^x \sigma_y(x) dx. \quad (5.17)$$

Учитывая, что относительная деформация клевого слоя незначительна, можно принять

$$\int_0^x dx \int_0^x \sigma_y(x) dx = \frac{1}{2} \delta_0 \int_0^x \tau_x(x) dx. \quad (5.18)$$

Решая это уравнение, при подстановке значения касательных напряжений из (5.5), получим выражение для определения отрывающих напряжений

$$\sigma_y(x) = \frac{P}{2} \cdot \frac{\delta_0 K}{e^x - e^{-x}} [(1 + e^{-x}) e^{ex} - (1 + e^x) e^{-ex}]. \quad (5.19)$$

Тогда

$$\sigma_y(l) = -\sigma_y(0) = \frac{P \delta_0 K}{2} = \sigma_{y_{max}} \quad (5.20)$$

$$\sigma_y(0,5l) = 0. \quad (5.21)$$

Сравнивая распределение нормальных и касательных напряжений, можно видеть, что первые распределяются несимметрично относительно оси x , вторые — симметрично. Как те, так и другие достигают максимальной величины на концах накладок (при $x = 0$ и $x = l$). Обама наибольшие напряжения в клевом шве

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_y(x)^2 + 4\tau_x(x)^2}. \quad (5.22)$$

Для соединений, имеющих достаточно большие длины накладок и при $\delta_0 = 0,5\delta$,

$$\tau_{max} = \frac{P}{4} \sqrt{\frac{\delta_0}{\delta_0 \delta_0} \left(\frac{\delta_0 \delta_0}{2\delta_0 \delta_0} + 4 \right)}. \quad (5.23)$$

Из (5.23) видно, что влияние нормальных напряжений на общее напряжение в клевом шве увеличивается с увеличением толщины накладок и уменьшением ее жесткости (E_0).

Очевидно, для металлов, имеющих очень малые толщины при $E_0 \gg G_0$, этими напряжениями можно пренебречь. В соединяемых пластмассах, у которых отношение жесткостей характеристик склеиваемых материалов и клея (E_0/G_0) сравнительно невелико, нормальные напряжения могут достигать значительной величины.

Стыковые соединения с накладками при изгибе

Судовые конструкции в основном подвергаются действию поперечных нагрузок и претерпевают деформацию изгиба. В [10] на базе основных положений теории составных стержней были получены основные зависимости, позволяющие оценить прочность таких соединений.

Выражение для определения максимальных касательных напряжений на концах накладки имеет вид

$$\tau_{max} = \frac{3,6M_0}{\delta l}, \quad (5.24)$$

где M_0 — изгибающий момент в предположении работы соединения как монолит;

δ — толщина соединяемых листов ($\delta_0 = 1/2\delta_1$);
 l — длина накладки.

С ростом длины накладок для такого типа соединения напряжения уменьшаются и критерием оптимальной длины накладок в этом случае может явиться необходимая несущая способность соединения при достижении в материале опасных напряжений

$$l \geq 0,6 \frac{\delta_0 \delta_0}{\tau_{max}}. \quad (5.25)$$

При этом необходимо отметить, что оптимальная длина накладок, выбранная из условия обеспечения прочности на концах ее, гарантирует прочность соединения в районе стыка.

Тавровые (угловые) соединения при отрыве

Соединения набора с обшивкой, переборки с бортами и т. п. осуществляется с помощью прифланцеванных угловальников. Необходимость рассмотренного такого типа соединения обусловлена возможностью появления отрывающих усилий при действии нагрузки со стороны набора (гидростатического напора при испытании на водо-

зевонаемость отовов корпуса) и при действии нагрузки со стороны пластин (основной вид нагружения судовых перекрытий).

В первом случае пересекательно пластине и ее соединении с набором будут действовать нормальные (отрывающие) напряжения

$$\sigma = q \frac{a}{l}, \quad (5.26)$$

где q — равномерно распределенная нагрузка;

a — расстояние между балками набора;

l — расчетная толщина приформованного (принимаемая равной четырем толщине приформовочного угольника).

Нужно отметить, что использование (5.26) возможно при отсутствии значительных прогибов обшивки между набором и обеспечении совместной работы балки и обшивки на опоре 110.

Если имеет место прогиб между набором и жесткостью горизонтальной полки приформованного угольника достаточно высока, то необходимо рассматривать соединение, при котором тонкий лист неравномерно отрывается от жесткого основания (см. рис. 92, в).

Напряжение в клеевой шве может быть определено из рассмотрения изгиба балки, лежащей на упругом основании. Максимальное значение 131 в направлении

$$\sigma_{\text{ср}}^{\text{max}} = 2(N\alpha + M\alpha^2), \quad (5.27)$$

где N — осевая перерезывающая сила;

M — погонный изгибающий момент;

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{3E_0}{E_s b \Delta_0^3}}$$

b_0 — толщина обшивки.

При отсутствии гарантии совместного закрепления балки и обшивки на опоре величина максимальных отрывающих напряжений определяется из выражения [10]

$$\sigma_{\text{ср}} = \pi \frac{N_s}{b_s} \cdot \frac{a}{l}, \quad (5.28)$$

где N_s — перерезывающая сила.

Тавровые (угловые) соединения при изгибе

Клеевой шов в таких соединениях при изгибе наряду с отрывающими усилиями, рассмотренными в предыдущем параграфе, будет испытывать, очевидно, и сдвигающие усилия. Сдвигающими усилиями также будут нагружены и соединения пазов с бортом при общем изгибе.

Касательные напряжения определяются по известной формуле

$$\tau = \frac{QS}{J}$$

Для соединений балок набора $t = 4\delta$ (δ — толщина полки приформовочного угольника); для соединений пазов с бортом $t = 8\delta$.

§ 21.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТАВРОВЫХ (УГЛОВЫХ) СОЕДИНЕНИЙ НАБОРА С ОБШИВКОЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ СПОСОБОМ НАПЫЛЕНИЯ

Вместо приформовочных угольников, выполняемых из листов стеклоткани и других рулонных материалов, для соединения набора с обшивкой можно применить способ напыления.

Способ получения тавровых соединений реализуется при постройке судов типа «Надежда». Его преимущество не вызывает сомнений. Однако сложна задача по выбору размеров приформовочных угольников, получаемых с помощью напыления, так как существующую тенденцию — ориентацию на результаты исследования и опыт эксплуатации соединений с помощью приформовки — нельзя признать верной. Тем более, что существующие рекомендации содержат определенные противоречия между назначением размеров угольников и расчетом таких соединений.

Технология напыления определяет возможность получения соединений, качественно отличающихся по форме; отсутствию необходимости в прокладке жгута; однонаправленно формированию угольника; изотропностью прочностных и упругих свойств материала угольника; отсутствием явного выраженной клеевой прослойки.

Все это требует проведения теоретических исследований, направленных на решение вопроса о выборе параметров напыленных приформовочных угольников.

Будем считать, вначале, что приформовочные угольники в сечении представляют собой треугольник (рис. 95), а упругие характеристики всех элементов одинаковы. Материал угольника считаем изотропным.

Рассмотрим два основных случая работы таких соединений — отрыв стенки от основания и изгиб балки — и определим напряженное состояние соединений в этих случаях.

Напряжение при отрыве

Рассмотрим отрыв стенки равномерно распределенным по длине стенкой усилием Q , касаясь, действующим в нейтральной плоскости стенки (рис. 96). Речь идет о плоской задаче теории упругости. Ее решение сводится к решению бигармонического



Рис. 95. Угловое соединение набора с обшивкой напылением.

уравнения в трансцендентной области (φ — функции напряжений)

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2 \partial \rho^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \rho^2} = 0. \quad (5.29)$$

Граничные условия на кромке

$$y = 0; \quad \sigma_y = \varphi(x); \quad \tau_{xy} = 0, \quad (5.30)$$

где $\varphi(x)$ — закон распределения растягивающих усилий по толщине стержня.

Заметим, что для распределения напряжений в трапеции, вследствие малости l по сравнению с $2b$, фактической закон $\varphi(x)$ несуще-



Рис. 96. Распределение действующих усилий в угольнике.



Рис. 97. Расчетная клина.

ствен. Важна только величина равнодействующей

$$Q = \int_0^a q(x) dx. \quad (5.31)$$

Что касается граничных условий на кромке $y = H$, то они зависят от жесткости основания и являются условиями сопряжения с основанием. Точное решение плоской задачи на трансцендентном контуре очень сложно, так как отсутствуют комбинированные граничные условия. Поэтому можно рассчитывать на приближенное решение, которое может быть получено на базе существующего решения для клина (рис. 97) в полярных координатах.

Отметим, что интеграл от растягивающих напряжений по любому сечению $y = \text{const}$ будет одинаков

$$\int_{-y}^{+y} \sigma_y(x) dx = Q. \quad (5.32)$$

Функция $\varphi(r, \theta)$ определяется из бигармонического уравнения в полярных координатах вида

$$\left(\frac{\partial}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right)^2 \varphi = 0, \quad (5.33)$$

где r, θ — полярные координаты точки.

Это уравнение удовлетворяется при

$$\varphi = B\theta \sin \theta, \quad (5.34)$$

что приводит к напряженному состоянию

$$\sigma_r = \frac{2B}{r} \cos \theta; \quad (5.35)$$

$$\sigma_\theta = 0; \quad (5.36)$$

$$\tau_{r\theta} = 0, \quad (5.37)$$

где σ_r, σ_θ — радиальное и тангенциальное нормальные напряжения; $\tau_{r\theta}$ — касательные напряжения; B — постоянная, определяемая из условия равенства интеграла по любому сечению $r = \text{const}$ равнодействующей Q

$$2B = \frac{Q}{a + \frac{1}{2} \sin 2\theta}. \quad (5.38)$$

Выражения для определения напряжений в клине имеют вид

$$\sigma_r = \frac{Q}{a + \frac{1}{2} \sin 2\theta} \cdot \frac{1}{r} \cos \theta; \quad \sigma_\theta = 0; \quad \tau_{r\theta} = 0. \quad (5.39)$$

В сечениях $y = \text{const}$ выражения (5.39) можно переписать

$$\sigma_r = \text{const} \frac{\cos \theta}{r}. \quad (5.40)$$

Из геометрии известно, что

$$r = \frac{y}{\sin \theta}.$$

Тогда окончательно при фиксированном y получим

$$\sigma_r = \sigma_y \cos \theta = A \frac{\cos^2 \theta}{y}, \quad (5.41)$$

где A — постоянная, определяемая из условия

$$Q = \int_{-y}^{+y} A \frac{\cos^2 \theta}{y} dx. \quad (5.42)$$

Поскольку

$$x = y \tan \theta; \quad dx = y \frac{d\theta}{\cos^2 \theta} \quad (5.43)$$

и

$$Q = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} A \cos \theta d\theta = 2A \sin \theta, \quad (5.44)$$

$$A = \frac{Q}{2 \sin \alpha}$$

Окончательное выражение для определения напряжений

$$\sigma_x = \frac{Q}{2 \sin \alpha} \cdot \frac{y^2}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (5.45)$$

или же при $y = H$

$$\sigma_x = \frac{Q}{2 \sin \alpha} \cdot \frac{H^2}{\sqrt{x^2 + H^2}} \quad (5.46)$$

На рис. 58 показаны характер распределения напряжений в угольнике в кривые распределения напряжений в основаниях профоро-

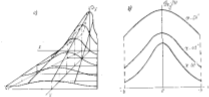


Рис. 58. Распределение нормальных напряжений в основаниях: а — в трапециевидном угольнике; б — в основании профоро-

новки, из которых видно, что увеличение ширины горизонтальной полки угольника (угла α) не приводит к увеличению несущей способности соединений, так как увеличивается неравномерность напряжений. Высоту полки угольника, очевидно, следует принимать такой же, або относительное ее уменьшение (увеличение α) нецелесообразно.

Касательные напряжения при изгибе

Рассмотрим участок балки, за протяжении которого перерезывающая сила N не изменяется. Тогда снова приходим к плоской задаче. Суммарное перерезывающее усилие T в любом сечении $y = \text{const}$ определяется по известной формуле

$$T = \frac{N y}{J}, \quad (5.47)$$

где J — момент инерции всего сечения;

S — статический момент относительно нейтральной оси отсеченной площади.

При $0 < y < H$ статический момент

$$S = S_a + S_b \quad (5.48)$$

где S_a — статический момент полки;

S_b — статический момент угольника и стенки.

В случае, когда площадь полки велика по сравнению с площадью наклонной части, вторым слагаемым в (5.48) можно пренебречь и считать перерезывающее усилие в пределах угольника постоянным по высоте сечения (по координате y). Относительная ошибка при этом будет не более

$$\frac{55}{3} = S_a : S_b < \frac{\omega_a}{\omega_b - \omega_a}, \quad (5.49)$$

где ω_a и ω_b — соответственно площадь полки и отсеченной части стенки с наклонным угольником.

Если площадь ω_a соизмерима с ω_b , то в каждом конкретном случае не составляет труда построить эпюры перерезывающих усилий по высоте сечения (для этого нужно знать положение нейтральной оси).

Таким образом, как и в предыдущем случае, известен заранее интеграл от касательных напряжений по любому сечению $y = \text{const}$. Следовательно, для получения приближенного решения достаточно обоснованно задать закон распределения напряжений по оси x .

Так как известно, что

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial z} = \sigma_y, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial z} = \sigma_x, \quad - \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \tau_{xy} \quad (5.50)$$

то уравнение (5.29) может быть приведено к любой из форм:

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial z^2} = 0 \quad (5.51)$$

или

$$\frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial z^2} = 0. \quad (5.52)$$

Графичные условия для σ_x и τ_{xy} также аналогичны. Поэтому характер распределения касательных напряжений должен совпадать. Принимаем закон распределения напряжений по оси x в виде

$$\tau_{xy} = a \frac{\cos^2 \theta}{y}. \quad (5.53)$$

Тогда

$$T = \int_{-b}^{+b} a \frac{\cos^2 \theta}{y} dy = 2a \sin \alpha \quad (5.54)$$

$$\tau = \frac{\gamma}{2 \sin \alpha} \frac{\sigma^2}{V(\sigma^2 + \rho^2)}, \quad (5.55)$$

Кривые распределения касательных напряжений в основании прифронтки показаны на рис. 99.

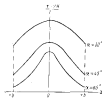


Рис. 99. Распределение касательных напряжений в соединении.

Если прочностные свойства напыленного материала ниже, чем у соединяемых элементов, то все размеры соединения необходимо увеличить пропорционально уменьшению механических свойств напыленного материала.

§ 22. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ. УСЛОВИЯ ПОДБОРА

Теоретические исследования работы клевых соединений и зависимости, полученные в результате этих исследований, позволяют проводить оценку прочности соединений и выявить влияние конструктивных параметров и механических свойств элементов соединения на величину и характер распределения напряжений, возникающих в элементах соединений.

Практическое использование результатов этих исследований для оценки прочности реальных клевых конструкций зависит от следующих обстоятельств (и ограничений ими):

1. Условности некоторых допущений, принятых при составлении уравнений, ограничивающих применимость их для соединений, отвечающих этим требованиям.
2. Отсутствие возможности аналитической оценки когезионной и адгезионной прочности клея.
3. Возможного изменения свойств клея в шве в присутствии склеиваемых материалов.

4. Зависимости когезионных и адгезионных свойств клея от влияния температуры, влажности, времени и т. п.

5. Зависимости прочности клевого шва от обработки склеиваемых поверхностей и их ровности, качества выполненных работ, продолжительности застывания клея, времени открытой выдержки папсового клея, величин давления, выдержки под давлением, температуры, влажности и т. п.

6. Зависимости прочности соединений от характера нагружения.

7. Трудности определения напряженного состояния клевого шва в реальных судовых конструкциях, испытывающих сложную систему нагрузок.

Специфика перечисленных факторов и параметров, входящих в аналитические зависимости, не исключает их взаимосвязи и требует комплексного изучения.

Выбор тех или иных материалов для элементов соединений, их конструктивных параметров и формы, наряду с обеспечением необходимой прочности и точности, определяет соответствующую технологию изготовления соединений, т. е. режимы, подготовку поверхности, температуру склеивания, составку и т. п.

Как следует из (5.9), выражение для определения максимальных напряжений в клеювом шве при раскрывании соединений с накладками с учетом упругих характеристик клевого шва имеет вид

$$\tau_{\max} = \frac{P}{4l} \sqrt{\frac{G_0}{E_0 \delta_0}}, \quad (5.56)$$

где P — действующее усилие;

l — длина накладки;

$$l = \sqrt{\frac{30,5 \Gamma^2}{E_0 \delta_0}};$$

G_0 — модуль сдвига клея;

δ_0 — толщина клевого слоя;

$E_0 = E_1 \delta_1$.

Из (5.56) видно, что уменьшение толщины клевого слоя приводит к увеличению максимальных напряжений и снижению прочности соединения. Однако уменьшение толщины клевого слоя положительным образом сказывается на адгезии, уменьшает величину вредных усачочных (внутренних) напряжений и снижает статистическую вероятность внутренних дефектов. При больших толщинах прокладки увеличивается эластичность соединения, повышается нагрузка на клей и его сцепление с поверхностью склеиваемого материала.

При непрерывном совместном формировании накладок и соединяемых листов можно использовать расчетные схемы, учитывающие работу монолитных соединений (не учитывая упругих параметров клея), а при склеивании готовых листов — с учетом клевого прокладки. В последнем случае возникает вопрос о необходимости строгого учета внутренних напряжений в клеювом соединении, возникающих в результате усадки стеклопластика [10].

При соединении листов стеклопластика во (5.15) можно выявить касательные напряжения в шве за счет формы накладок с одновременным уменьшением расхода материала. Аналитические зависимости в большей мере позволяют управлять процессом конструирования соединений и их изготовления.

Большое значение для исследования клееных соединений приобретают эксперименты. Одни из них необходимы для определения отдельных параметров, входящих в аналитические выражения (другие параметры клееного шва, касательные напряжения при разрушении и т. д.), для проверки этих зависимостей, для проверки прочности соединений или клееных конструкций. Результаты других экспериментов являются базой для выбора клея, позволяют на образцах отработать оптимальные технологические режимы, выбрать необходимую оснастку, оценить влияние температуры, влажности и т. д. на прочность соединений.

Очевидно, что данные результаты второй группы экспериментов непосредственно зависят от конкретных свойств элементов соединения. Их следует определять в каждом частном случае самостоятельно, а при использовании рекомендуемых и опробованных клеев — на основе соответствующих справочных материалов. Полученные данные являются исходными для назначения норм прочности и должны быть получены для различных сочетаний клееных материалов и клеев и процесс исследований соединений в лабораторных условиях с учетом возможных отступлений при изготовлении реальных конструкций.

Результаты экспериментальных исследований клееных соединений дают количественную зависимость между величинами, представляющими практический интерес и определяют область их приложения, которая ограничивается частными случаями, являющимися объектами эксперимента.

Суждение на основании полученных данных о свойствах других соединений совершенно закономерно. Данные опыта отражают конкретное соединение со всеми его особенностями и не дают оснований для суждения, какие из его особенностей наиболее существенны.

Естественно, чем сложнее процесс и зависимость их от различных факторов, тем меньше оснований для уверенности, что результаты единичных испытаний могут быть распространены на казалось бы тождественные явления. Такое исследование, приводящее к результатам, могущим быть описанным только в одном частном случае, и рационально не распространяющееся на какие-либо другие случаи, нельзя признавать удовлетворительным, и практическая ценность его весьма низка, так как каждое соединение должно рассматриваться как объект самостоятельного эксперимента. Поэтому во всяком экспериментальном исследовании надо подходить с требованием, чтобы оно приводило не только к известным количественным соотношениям, но и к определенным основаниям для их обобщения.

Необходимость обобщения результатов исследования клееных соединений и отдельные предложения были высказаны в различных

работах, например [71]. Авторы анализируют структуру формулы, полученной Рейсснером [74] для определения напряжений при растяжении соединений наклею, соответствующим преобразованиям получили базисный параметр, функцией которого является коэффициент концентрации. Так как коэффициент концентрации представляет наибольший интерес при опытных исследованиях, то равенство этих параметров и принято за условие подобия.

С целью проведения строгого анализа указанного положения и получения необходимых данных для проведения анализа работы других типов соединений, авторы пытались решить задачу с использованием метода, основанного на теории подобия [32].

Для решения задачи используется метод, заключающийся в отыскании такой формы обработки некоррелированных данных опыта, которая отвечает основным уравнениям, определяющим область стороны явлений.

Рассмотрим растяжение клееного соединения с двумя накладками. Основное дифференциальное уравнение равновесия системы, из которого получено значение для касательных напряжений, имеет вид

$$\tau' - M\tau = 0. \quad (5.57)$$

Это уравнение определяет бесконечное множество явлений. В нем не содержится никаких признаков, во которых можно было бы отличить совокупность значений, относящихся к данному явлению.

Не распознав указанные иными значениями, кроме тех, которые содержатся в уравнении (5.57), мы не в состоянии выбрать совокупность частных значений, относящихся именно к данному явлению. Поэтому это уравнение нельзя рассматривать как полную модель рассматриваемого явления. Оно не отражает условий, которые могли бы послужить достаточными признаками для выбора совокупности значений, отмечавших некоторую определенную частную решение.

В соответствии с основным положением теории достаточным основанием для утверждения подобия явлений есть подобие условий однозначности при тождественности основной системы уравнений.

Группа подобных явлений есть область, в которой можно закономерно распространять данные единичного опыта.

Условие однозначности, дополнительные условия, позволяющие выделить из всего множества явлений данного класса единичное конкретное явление, определяют все обстоятельства, существенно влияющие на работу соединения, и вместе с тем устанавливаются все зависимости от него.

Условием однозначности определяются следующие признаки:

1. Геометрические размеры элементов.

Соединение может иметь различные размеры соединяемых листов, накладок, форма которых также может быть различной. Уравнение (5.56) применимо, например, для различных соотношений толщины накладок и соединяемых листов, различных длин накладок, однако характер распределения и величина касательных напряжений в соответственных точках будут иными. Условие однозначности

должны достаточным образом определять геометрические признаки системы.

2. Физические константы элементов.

Материалы элементов соединения имеют различные физико-механические свойства; уравнение (5.56) содержит указание, какие именно свойства материала элементов влияют на величину и характер распределения касательных напряжений. Совершенно очевидно, что до тех пор, пока мы не будем знать численных значений величин, характеризующих свойства материалов, это уравнение не может привести к определенному численному решению.

3. Начальное состояние системы.

Склеивание — сложный физико-химический процесс, зависящий от температуры склеивания, влажности, давления. Эти условия невозможно определить на основании основного уравнения, но они будут влиять на работу соединения, описываемого уравнением. Поэтому необходимо знать состояние системы к началу исследуемого процесса, определяемое предшествующими процессами.

4. Условия на границах системы.

Исследование соединения происходит в сфере, не изолированной от воздействия окружающей среды. В процессе эксплуатации или при испытании образцов может происходить изменение температуры, влажности, в влиянии которых нельзя судить по основному уравнению. Они должны быть также определены условиями однозначности.

В принципе совокупностью основного уравнения и условий однозначности явление определено вполне. Однако математическое описание явлений, определенных условиями однозначности, представляет значительные трудности, и они могут быть настолько сложными, что строгое решение их вообще невозможно. Кроме того, при составлении основного уравнения был принят ряд допущений, упрощающих уравнение. Об искажающих влияниях некоторых из них мы не имеем представления; с физического смысла других упрощений не удастся составить достаточно определенного представления. Такие невозможно дать и количественную оценку искажающего влияния всех этих условий на конечные результаты.

Разумеется, применять такие решения необходимо с большой осторожностью. Во многих случаях ими вообще нельзя пользоваться без предварительной опытной проверки.

Итак, аналитическое описание явления заключается в том, что его исходные представления отличаются большой общностью, но конечные результаты не отвечают строго этим представлениям, что значительно снижает их ценность. Теория подобия, представляющая собой известный синтез методов теоретического и экспериментального исследования, позволяет в большой мере ликвидировать этот недостаток.

Основная идея теории подобия заключается в том, чтобы выделить класс явлений, определенных некоторыми общими дифференциальными уравнениями, противопоставить понятие группы, в пределах которой возможно обобщение данных единичного опыта.

Математическое содержание задач о совместности двух основных признаков подобия — подобия условий однозначности при тождественности уравнений — заключается в определении тех условий, при выполнении которых уравнение обладает свойством инвариантности по отношению к подобным преобразованиям величин, входящих в их состав.

Используя математический аппарат теории подобия, решим эту задачу применительно к процессу склеивания клевого соединения, описываемого уравнением (5.57).

Левая часть уравнения представляет собой сумму, состоящую из двух членов. Каждый из них рассмотрим как первоначальный степенной комплекс и, переходя к новым переменным и полагая

$$x^* = P_0; \quad Mx \cdot P_1, \quad (5.58)$$

перепишем основное уравнение в виде

$$P_0 - P_1 = 0 \quad (5.59)$$

или

$$P_0 \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right) = 0. \quad (5.60)$$

Признаки обозначения $\frac{P_1}{P_0} = P$, имеем

$$P_0 (1 - P) = 0.$$

Этому уравнению отвечают два возможных решения

$$P_0 = 0, \quad (5.61)$$

$$1 - P = 0. \quad (5.62)$$

Первое из этих решений означает, что $P_0 = 0$ и отвечает некоторому специальному распределению касательных напряжений и не представляет никакого интереса с точки зрения исследуемого вопроса об инвариантности уравнения. Поэтому первое из решений отбрасываем.

Условие инвариантности уравнения (5.57) определится на основании тождества

$$x^* - Mx = P_0 (1 - P) = 0 \quad (5.63)$$

условиями инвариантности уравнения по отношению к подобным преобразованиям комплекса

$$1 - P = 0, \quad (5.64)$$

Задача сводится к выведению тех ограничений, которым надо подчинить выбор множителей преобразования для того, чтобы функция (5.64) получила свойства гомогенности, т. е. она должна обладать таким свойством, что при умножении на постоянные множители все постоянные множители выносятся из-под знака функции, образуя некоторый множитель для функции в целом. Это означает,

что подобие преобразования приводит к преобразованию функции в целом. Это условие запишется в виде

$$1 - VP = 0.$$

Для этого нужно удовлетворить требованию $V = 1$.

Любой множитель V представляет собой отношение двух одноименных комплексов, и для нашего случая это условие запишется

$$V_0 = \frac{P'_0}{P_0} \text{ и } P'_1 = P_1$$

или же

$$P_1 = \text{idem}$$

(значками сверху отмечена принадлежность комплексов к данной системе).

Так как комплекс P включает в себя первоначальный комплекс t , в котором переменная t входит под знак дифференциального оператора, то необходимо произвести приведение комплексов.

В соответствии с теорией подобия приведенные комплексы, отмеченные первоначальным комплексом P_0 и P_1 , будут равны соответственно

$$j = \frac{x}{x'} \quad (5.65)$$

и

$$j_1 = Mx. \quad (5.66)$$

Отсюда комплексу P отвечает приведенный комплекс, равный отношению j_1 к j_0 . Отсюда следует

$$j = \frac{j_1}{j_0} = Mx^2 = \text{idem}. \quad (5.67)$$

В состав этого выражения входит величина x , которой определяется расположение сопоставленных сходственных точек. Легко убедиться, что эту величину можно заменить любым произвольно выбранным отрезком, если согласится, что во всех случаях в состав критерия вводится именно этот размер. Законом такого замещения воспользуемся.

Непосредственно на то обстоятельство, что любые сходственные отрезки l' и l удовлетворяют условию

$$\frac{l'}{x'} = \frac{l}{x}$$

или

$$\frac{l'}{x'} = \frac{l}{x},$$

следует

$$\frac{l}{x} = \text{idem}.$$

Тогда окончательно

$$j = Mx^2 = \text{idem}. \quad (5.68)$$

где j — критерий подобия.

Соблюдение условия (5.68) — есть тот признак, который является достаточным для заключения об инвариантности уравнения (5.64). Критерий подобия отражает количественные признаки, которые представляют собой достаточное основание для суждения о подобии явлений.

Подставляя из (5.4) значение M в (5.68), получим значение критерия подобия для рассматриваемого соединения в виде

$$j = \frac{4G_0 G^2}{\delta G_0^2} = \text{idem}. \quad (5.69)$$

Величина и характер распределения касательных напряжений в клееном шве для различных соединений с накладками при растяжении будут подобны, если величины, входящие в выражение (5.69), в сходственных точках находятся в тех особых соотношениях, при которых удовлетворяется требованием равенства критерия, т. е. $j_1 = j_2$. Если количественные соотношения таковы, что не удовлетворяют уравнению (5.69), то явления не будут между собой подобными ни при каких условиях.

Так как явления определяются всего одним критерием, то равенство критерия обеспечивает в равенство напряжений в сходственных точках. Используя выражение (5.68) и (5.69), можно на базе решений единичных испытаний судить о величинах напряжений в сходственных точках подобных соединений, зная их различные геометрические параметры. В отдельных случаях, например при разрушении соединений по клею одной и той же марки, эти зависимости могут быть использованы и для соединений, отличающихся по соединяемым материалам.

В (5.66) и (5.69) входит параметр G_0 — модуль сдвига клея, который, по утверждению многих исследователей, приобретает новые значения в присутствии склеиваемых материалов, а отсюда вытекают затруднения в определении этого параметра и определении максимальных напряжений в клееном шве.

Так как целью экспериментальных исследований, как правило, является определение размеров соединения, обеспечивающих максимальную его прочность, предлагаемый метод освобождает от необходимости получения вышеуказанных данных.

Обеспечение максимальной прочности соединения, как следует из (5.9), характеризуется постоянством максимальных напряжений, т. е. $\tau_{\text{max}} = \text{const}$ и $P_{\text{max}} = \text{const}$.

Применяя однородные склеиваемые материалы и клеи (подготавливается подобие условий однородности, т. е. технологии изготовления, температуры и т. д.), можно задать необходимое условие, обеспечивающее подобие по (5.69) в виде

$$\frac{G_1}{\delta G_0} = \frac{G_2}{\delta G_0}, \quad (5.70)$$

где индексом 1 обозначена оптимальная длина накладки, полученная при испытании соединения листов толщиной δ_{01} .

Отсюда оптимальные величины длин накладок для толщины δ_{02}

$$l_2 = l_1 \sqrt{\frac{\delta_{02}}{\delta_{01}}} \quad (5.71)$$

На рис. 100 представлены зависимости оптимальной длины накладок соединений стеклопластиков от толщины склеиваемых материалов. Сплошной линией показана экспериментальная кривая, пунктирной — теоретическая, вычисленная по (5.71). За базу (l_1 и δ_{01}) взяты данные при толщине $\delta_{01} = 10$ мм. Из рисунка видно, что обе кривые практически совпадают.

Применение такого метода позволяет существенно сократить цикл экспериментальных работ и их стоимость.

В [10] было показано, что условие разрушения клевого шва в тавровых (или угловых) соединениях при отрыве имеет различный характер. Аналитическая оценка напряженного состояния и прочности таких соединений весьма сложна. Поэтому исследование таких соединений базируется на эксперименте, причем опытная оценка требует проведения индивидуальных испытаний каждого типоразмера образцов.

○ — экспериментальная кривая;
— теоретическая кривая.

Рис. 100. Зависимость оптимальной длины накладок от толщины склеиваемых листов.

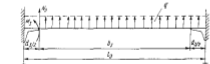


Рис. 101. Схема загрузки перекрытия.

Для судостроительных целей наибольший интерес представляет суждение о прочности крепления набора к обшивке, которое может быть оценено путем испытаний по одной из схем, приведенных выше.

Появление отрывающих усилий в условиях эксплуатации судовых перекрытий весьма ограничено. Как правило, судовые перекрытия — палубы, днище, борты — подвержены нагружению со стороны, противоположной расположению набора.

Исключение могут составить такжи с жидким грузом, переборки, а также палубные перекрытия в период затопления отсеков или при испытании их. Ввиду облойной симметрии пролетов и нагрузки перекрытие можно заменить балкой.

Рассматривая схемы (рис. 101 и 102), можно предположить, что фактические условия работы клевого шва в этих случаях будут

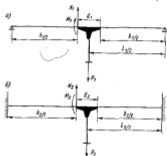


Рис. 102. Схемы возмущений угловых соединений из отрыва.

достаточно близки, если будут равны передерывающие силы Q и изгибающие моменты M , т. е.

$$\left. \begin{aligned} Q_1 - Q_0 - Q_2; \\ M_1 - M_0 - M_2 \end{aligned} \right\} \quad (5.72)$$

Определив значение момента для каждой из этих схем обычным способом и приравняв их, можно получить:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \frac{b_0}{2} = \frac{b_0}{2}; \\ l_1 &= 2b_1 + d_1; \\ l_2 &= \frac{2b_2}{3} + d_2. \end{aligned} \right\} \quad (5.73)$$

Эти выражения могут быть использованы, когда требуется решить, какой нужно выбрать пролет между опорями при испытании, чтобы получить результаты, соответствующие фактическому расстоянию между балками набора перекрытия.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
МАЛЫХ СУДОВ

§ 23.

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Вопрос о проектировании конструкций малых (мелких) судов из стеклопластика требует самостоятельного рассмотрения. Ведь даже отсутствует общепринятое понятие — «малое судно». Этот вопрос является предметом неоднократного обсуждения специалистов на конференциях по мелкому судостроению и в печати.

К малым судам принято относить суда заводского потребления — катера, спортивные, спасательные, прогулочные и моторные лодки длиной до 10 м. К этой же категории в морском транспорте можно отнести суда длиной до 20 м (нижняя граница регламентируемых Правлами Регистра СССР размеров связей судов). В Ленинградском институте водного транспорта для уточнения этого вопроса была проделана работа, результатами которой были доложены на III Всесоюзной конференции по малотоннажному судостроению (Ленинград, 1966 г.) и нашли отражение в разработанных ЛНВТ специальных требованиях Речного Регистра РСФСР [25].

При постройке малых судов из дерева и металла размеры различных связей корпуса выбирают главным образом на основе изучения многолетнего опыта эксплуатации удачных и неудачных конструкций.

Корпуса из стеклопластика не имеют характерных для деревянных конструкций пазов и стыков и не нуждаются во введении запясов на корпусную, свойственную стальным судам. Поэтому определение размеров связей следует базировать на основе расчета прочности с учета свойств стеклопластика.

Нужно учитывать, что внешние нагрузки могут принести к созданию технологических и конструктивных решений. Поэтому необходимо руководствоваться соблюдением минимально допустимых размеров связей.

В некоторых случаях определение размеров связей, например, спасательных судов на основании расчета встречает определенные трудности из-за необходимости определения внешних сил, обусловленных спецификой условий эксплуатации.

Правила Регистра СССР предусматривают для пластмассовых спасательных шлюпок и катеров проведение статических испытаний, а также дополнительных испытаний на удар, на обсыпание, по проверке прочности заделок и креплений надъемно-спусковых устройств.

Спасательные суда обычно подвергают статическим испытаниям для определения прочности корпуса подвешиванием шлюпок (катеров) на гаках в условиях, регламентируемых Регистром. Пластмассовые шлюпки (катера), подвешиваемые на шлюпочных гаках, испытывают дополнительно на удар отклонением от вертикального

положения от станины либо от борта судна на 2,5 м. Расстояние по вертикали между точкой подвеса и гаком шлюпки должно быть равным 6 м, а от стенки береговой или борта судна до плашкири свободно подвешенной шлюпки — 0,5 м. Производят также испытание сбрасыванием полостью загруженной шлюпки в воду с высоты 2,5 м.

Проверку прочности заделок и креплений осуществляют следующим образом. Перегруженную на 50% шлюпку, подвешенную на гаках, опускают со скоростью 0,6 м/сек, а затем на расстоянии 0,5 м от поверхности воды резко тормозят.

Необходимость проведения дополнительных испытаний пластмассовых шлюпок и катеров обусловливается, главным образом, тем, что опыт постройки пластмассовых судов недостаточен.

Разнообразие свойств разных материалов, возможность осуществления различных конструктивных вариантов (однослойные, трехслойные, с набором, без набора и т. п.) позволяют получить оптимальные решения. Оценка степени оптимальности конструкций проведением серии натурных швартовых испытаний различных вариантов шлюпок без предварительного расчета привела бы к существенному и неоправданному увеличению затрат в проектных и производственных организациях. Отсюда очевидно целесообразность применения расчетных методов определения этих сил.

В соответствии с требованиями Речного Регистра РСФСР при расчете общей продольной прочности малых судов в качестве расчетных нагрузок принимают изгибающие моменты и перегибающие силы, возникающие в корпусе судна при положении на двух крайних опорах (подъем или спуск на стропы) или на одной средней опоре (положение судна на катаках). В случае подъема или спуска на стропы задача сводится к определению статических изгибающих моментов и перегибающих сил при подвесе с учетом перегрузки, которая может возникнуть при внезапной остановке спуска (или при спуске рыжками).

§ 24.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ «МАЛОЕ СУДНО»

Малые суда предназначаются в основном для эксплуатации на внутренних водоемах, реках, озерах, т. е. должны отвечать требованиям Правил Речного Регистра РСФСР.

Одним из основных условий гарантии безопасной эксплуатации судов, независимо от их назначения и размеров, является условие обеспечения достаточной прочности корпуса.

Размеры связей корпусов судов внутреннего плавания назначаются в соответствии с требованиями Правил постройки 1965 г., которые предусматривают возможность применения одного из двух методов проектирования конструкций корпуса: расчетного и выбора конструктивных элементов на основе таблин. Оба метода базируются на основе ранее действующих самостоятельных Норм прочности и Правил постройки.

Проектируемые пластмассовые суда должны удовлетворять «Временным требованиям к постройке судов внутреннего плавания из пластмасс Речного Регистра РСФСР».

Поскольку оба метода проектирования отражают единую методологию для определенных «стандартных» типов судов, справедливо равенство

$$W_{расч} = W_{зад} = \frac{M_{расч}}{\sigma_{доп}}, \quad (6.1)$$

где $W_{расч}$ — момент сопротивления эквивалентного бруса, определенный по расчету;

$W_{зад}$ — момент сопротивления эквивалентного бруса, заданного по таблицам Правил;

$M_{расч}$ — расчетный изгибающий момент;

$\sigma_{доп}$ — допускаемые напряжения.

Величина расчетного изгибающего момента в соответствии с Нормами Регистра

$$M_{расч} = M_{г,з} + M_{двк}, \quad (6.2)$$

где $M_{г,з}$ — изгибающий момент на тихой воде;

$M_{двк} = KL^2B^3$ — изгибающий момент при постановке судна на носовую волну;

L — длина судна;

B — высота расчетной волны.

Значение K выбирают наибольшим из величин, полученных по выражениям:

$$K_1 = K_2 K_3 + 0,02(1 - \alpha);$$

$$K_2 = 0,055 - 0,0127(1 - \alpha), \quad (6.3)$$

где $K_1 = f(\alpha)$ и $K_2 = f(B, \varphi, \lambda)$ — параметры, определяемые по Правилам в зависимости от коэффициента полноты конструктивной ватерлинии α ; ширины судна B ; угла между ДП судна и направлением, параллельным гребням волн φ ;

длины расчетной волны λ .

Величина изгибающего момента на тихой воде

$$M_{г,з} = \delta \chi \beta T L^3$$

или

$$M_{г,з} = \frac{\delta \chi}{K}, \quad (6.4)$$

где χ — коэффициент, определенный из практики (статистический);

β — коэффициент общей полноты.

Учитывая, что Правила Регистра устанавливают минимально допустимые толщины обшивки соответственно классу судна, момент сопротивления эквивалентного бруса корпусов судов с такой обшив-

кой при поперечной системе набора, т. е. подавляющего большинства судов малых размеров, может быть представлен в виде

$$W_{зад} = t_{мин} H \left(B + \frac{H}{2} \right), \quad (6.5)$$

где $t_{мин}$ — минимально допустимая толщина, см;

H — высота борта, м.

Можно предположить существование некоторой границы, зависящей от размеров судна и района плавания, при которой будет соблюдаться на основании (6.5) условие

$$W_{расч} < W_{зад}. \quad (6.6)$$

Соблюдение (6.6) позволит значить связи эквивалентного бруса без выполнения традиционных расчетов общей прочности, поскольку последняя будет задано/обеспечена. Это условие можно считать основной предпосылкой для определения понятия «малое судно».

Из (6.1), (6.2) и (6.4) имеем:

$$W_{расч} = \frac{M_{г,з} \left(1 + \frac{K}{\delta \chi} \cdot \frac{B}{T} \right)}{\sigma_{доп}}. \quad (6.7)$$

Обозначив $\frac{B}{T} = \alpha$, $\frac{T}{H} = \varepsilon$, $1 + \frac{K}{\delta \chi} \cdot \frac{B}{T} \approx P$, после подстановки (6.1), (6.4) и (6.5) в (6.7) и после некоторых преобразований получим

$$3\delta \chi [(3\alpha + 1) t_{мин} + \alpha \varepsilon L^2 P] < \sigma_{доп} \quad (6.8)$$

или, учитывая, что в диапазоне значений $\alpha = (2+5)$, характерных для малых судов, численная величина множителя $\frac{3\alpha}{3\alpha + 1}$ колеблется в пределах 0,86—0,94, т. е. ≈ 1 , получим окончательно

$$\frac{\delta \chi L^2}{t_{мин} P} < \sigma_{доп}. \quad (6.9)$$

Для судов класса «Г», имеющих $P = 1$ (при $M_{двк} = 0$), условия (6.8) и (6.9) примут вид

$$L^2 < \frac{\sigma_{доп} t_{мин}}{\delta \chi}. \quad (6.10)$$

Для судов классов «Р», «О» и «М», у которых $M_{двк} \neq 0$,

$$L^2 < \frac{\sigma_{доп} t_{мин}}{\delta \chi} \cdot \frac{1}{P}. \quad (6.11)$$

Таким образом, в качестве критерия, определяющего понятие «малое судно», может быть принята максимальная длина судна, при которой выполняется условие (6.10) и (6.11). Эту длину назовем критической. Критическая длина судна и возможность его отнесения к разряду «малых» зависит от класса судна (по району плавания), соотношений главных размерений и материала корпуса.

Используя полученные выражения и статистические данные по построенным судам, можно определить критическую длину и установить границы для судов различных классов. Степень достоверности этих данных будет находиться в пределах погрешности выполнения современных расчетов прочности судов, особенно если учитывать существующую условность при назначении расчетных изгибающих моментов.*

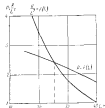


Рис. 103. Графическое определение критической длины судна (класс «В»).

L	K	P
20 м	0,018	2,74
30 »	0,017	2,10
40 »	0,014	1,68

Обозначим $R = \frac{\sigma_{\text{кр}} L^2}{48T}$, тогда при принятых численных значениях параметров и $\sigma_{\text{кр}} = 2200 \text{ кг/см}^2$, получаем $R = 1,67 \cdot 10^6$. Для принятых значений L определяем R/L^2 :

L	R/L ²
20 м	4,97
30 »	1,82
40 »	1,02

По вычисленным значениям P и R/L^2 (в зависимости от L) строим график $P = f_1(L)$, $R/L^2 = f_2(L)$ (рис. 103).

Критическую длину можно определить из равенства $P = R/L^2$ (точка пересечения кривых). Тогда судна класса «В», имеющие длину меньше критической, следует отнести к «малым».

Предложенный метод может быть применен для определения критической длины морского судна и для установления критерия «малое судно» для морских судов.

* Анализ графиков применительно к стальным судам. Это объясняется отсутствием информации относительно для металлических судов в последнем издании. Однако в отношении возмозможности этого в дальнейшем будет сказано с кривыми.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНИХ НАГРУЗОК
ДЛЯ СПАСАТЕЛЬНЫХ СУДОВ**

Статистические испытания

Определение прочности спасательных судов, как отмечено выше, сводится к определению нагрузок, действующих на суда во время эксплуатации. Эту задачу на практике решают посредством соответствующих испытаний.

При назначении расчетной схемы для статических испытаний шлюпок необходимо учитывать следующее:

1. При оценке общего изгиба шлюпки не следует добиваться такой жесткости, как при обычных расчетах общего изгиба корпуса.
2. На-за обилия и шлюпок перемещающихся грузов заранее неизвестны достаточно достоверные варианты нагрузок.

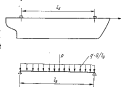


Рис. 104. Расчетная схема при статических испытаниях шлюпки.

Допуская ошибку в безопасную сторону, можно рассмотреть шлюпку как призматическую балку, свободно опертую на концах и нагруженную по продввденной схеме (рис. 104).

Вес корпуса равномерно распределен по длине между точками подвеса и равен $q = \frac{Q}{l_0}$. Остаточную нагрузку (P) считают сосредоточенной по середине пролета l_0 . Тогда максимальный изгибающий момент M_{max} ($M_{\text{кр}}$) по середине пролета

$$M_{\text{max}} = \frac{l_0}{4} \left(\frac{Q}{2} + P \right), \quad (6.12)$$

максимальный прогиб (по середине пролета)

$$v_{\text{max}} = \frac{q}{48EJ} \left[P + \frac{Q}{8} \right]. \quad (6.13)$$

Внешняя опора при спуске

Шлюпка рассматривается как гибкая несомая балка на упругих опорах (рис. 105). Упругость опор обуславливается упругостью тросов, на которых подвешена шлюпка. Весу шлюпки считают сосредоточенной по середине.

Такая схема, обеспечивая простоту расчетных формул, обуславливает ошибку в безопасную сторону.

Суммарная жесткость системы будет

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2C_1} + \frac{1}{C_2}; \quad C = \frac{2C_1 C_2}{2C_1 + C_2}, \quad (6.14)$$

где C_1 — жесткость одного троса;

C_2 — жесткость шлюпки;

$$C_2 = \frac{48EJ}{l^3}, \quad (6.15)$$

Практически тросы можно считать неупругими. Тогда

$$C = C_2, \quad (6.16)$$



а уравнение движения массы M после остановки

$$M\ddot{y} + C y = 0, \quad (6.17)$$

где y — перемещение массы (точками обозначены производные по времени).

Общее решение уравнения

$$y = A \cos \sqrt{\frac{C}{M}} t + B \sin \sqrt{\frac{C}{M}} t, \quad (6.18)$$

где A и B — постоянные интегрирования;

t — время.

Располагая начало отсчета координаты y в точке остановки, при $t = 0$ начальные условия

$$y = 0; \quad \dot{y}(0) = 0.$$

Подставляя общее решение начальным условиям, найдем

$$A = 0; \quad B = v_0 \sqrt{\frac{M}{C}}.$$

Тогда, в окончательном виде, закон движения

$$y = v_0 \sqrt{\frac{M}{C}} \sin \sqrt{\frac{C}{M}} t. \quad (6.19)$$

Максимальное дополнительное перемещение

$$y_{\max} = v_0 \sqrt{\frac{M}{C}}. \quad (6.20)$$

Максимальное ускорение

$$\ddot{y} = v_0 \sqrt{\frac{C}{M}}.$$

Максимальное усилие (суммарное в подвесах)

$$F_{\max} = M v_0 \sqrt{\frac{C}{M}} + D = v_0 \sqrt{CM} + D. \quad (6.21)$$

Коэффициент перегрузки

$$K = \frac{D + v_0 \sqrt{CM}}{D}. \quad (6.22)$$

Максимальный динамический изгибающий момент

$$M_{\max} = K M c_1, \quad (6.23)$$

где M_{c_1} — статический момент, определяемый из (6.12).

Удар в борт судна

Расчетная схема представляется следующей — шлюпка подвешена на тросе длиной R ; после отклонения на угол φ_0 совершает свободное движение до встречи с бортом судна (рис. 106). Рассматривается равновесие шлюпки в произвольный момент времени (рис. 107).

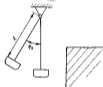


Рис. 106. Удар шлюпки о борт судна.



Рис. 107. Расчетная схема при ударе шлюпки о борт судна.

Угловое ускорение — $\ddot{\varphi}$ (φ — угол отклонения подвеса в произвольный момент времени), линейное ускорение — $R\ddot{\varphi}$, касательная составляющая силы инерции — $M R \ddot{\varphi}$ (M — погонная масса шлюпки). Касательная составляющая сил веса

$$D \sin \varphi,$$

где D — полное весовое возмещение шлюпки.

$$D \sin \varphi = M g \sin \varphi, \quad (6.24)$$

где g — ускорение силы тяжести.

Тогда сумма проекций сил на касательную g , действующих на шлюпку, дает следующее дифференциальное уравнение

$$M R \ddot{\varphi} + M g \sin \varphi = 0 \quad (6.25)$$

$$\text{или } \ddot{\varphi} + \frac{g}{R} \sin \varphi = 0.$$

После подстановки $\dot{\varphi} \rightarrow P$; $\ddot{\varphi} \rightarrow P \cdot P_{\dot{\varphi}}$ (P — угловая скорость; физический смысл) получим $P \cdot P_{\dot{\varphi}} = -\frac{g}{R} \sin \varphi$.

Отсюда $P dP = -\frac{g}{R} \sin \varphi$.

Интегрируя, будем иметь

$$P^2 = 2 \frac{g}{R} \cos \varphi + C, \quad (6.26)$$

где C — постоянная интегрирования, определяется исходя из начального условия

$$P(\varphi_0) = 0, \quad (6.27)$$

так как скорость и начальный момент движения отсутствуют.

Подставим (6.26) условие (6.27), найдем

$$C = -2 \frac{g}{R} \cos \varphi_0$$

тогда

$$P^2 = 2 \frac{g}{R} (\cos \varphi - \cos \varphi_0) \quad (6.28)$$

или

$$P = \sqrt{2 \frac{g}{R} (\cos \varphi - \cos \varphi_0)}. \quad (6.29)$$

Из выражения (6.29) видно, что максимальная угловая скорость достигается в момент $\varphi \rightarrow 0$, т. е. в крайнем нижнем положении

$$P_{\max} = \sqrt{2 \frac{g}{R} (1 - \cos \varphi_0)}. \quad (6.30)$$

Максимальное значение линейной скорости

$$v_{\max} = R P_{\max} = \sqrt{2gR(1 - \cos \varphi_0)}. \quad (6.31)$$

После очередного преобразования получим выражение для определения скорости встречи шлюпки с бортом судна

$$v_{\max} = 2 \sqrt{Rg} \sin \frac{\varphi_0}{2}. \quad (6.32)$$

Теперь можно перейти к рассмотрению второй стадии явления — процесса соударения. Принимаем допущение о том, что с бортом судна соприкасается лишь прилегающая часть борта шлюпки и что упругость удара обеспечивается за счет работы борта шлюпки как консольной балки (рис. 108). Тогда дифференциальное уравнение движения шлюпки после соприкосновения с бортом судна

$$M \ddot{y} - C y_0 = 0,$$

где C — жесткость борта шлюпки при работе по схеме консольной балки;

y — перемещение шлюпки.

Начальные условия при $t \rightarrow 0$ $y = 0$;

$$\dot{y} = v_{\max}.$$

Общее решение уравнения

$$y = A \cos \sqrt{\frac{C}{M}} t + B \sin \sqrt{\frac{C}{M}} t. \quad (6.33)$$

После поднесения последнего выражения начальным условиям получим

$$A = 0; \quad B = v_{\max} \sqrt{\frac{M}{C}}.$$

Тогда закон движения

$$y = v_{\max} \sqrt{\frac{M}{C}} \sin \sqrt{\frac{C}{M}} t; \quad (6.34)$$

максимальное перемещение

$$y_{\max} = v_{\max} \sqrt{\frac{M}{C}}; \quad (6.35)$$

максимальное усилие

$$Q_{\max} = C y_{\max} = v_{\max} \sqrt{MC}.$$

С учетом (6.32) максимальное усилие в процессе удара

$$Q_{\max} = 2 \sqrt{RgMC} \sin \frac{\varphi_0}{2} = 2 \sqrt{RDC} \sin \frac{\varphi_0}{2}. \quad (6.36)$$



Рис. 108. Схема соударения борта шлюпки с бортом судна.

Обскакивание на воду

Для определения внешней нагрузки, действующей на корпус шлюпки при погружении в воду, рассматриваем задачу о погружении некоторого условного клина в жидкость. Предположим, что клин имеет неограниченную длину и конечную ширину, равную ширине корпуса.

По теории Вагнера [59], удар клина аналогичен абсолютно неупругому удару двух масс: постоянной массы клина и переменной массы жидкости.

При решении этой задачи обычно принимают следующие допущения:

- жидкость предполагается несжимаемой;
- не учитывают влияние воздушной прослойки на силы, возникающие при ударе;
- не учитывают влияние упругости конструкции клина.

Указанные допущения приводят к ошибке в безопасную сторону. Вагнер предложил, исходя из ряда допущений, определять присоединенные массы в процессе погружения клина на основе решения, имеющего для плоской пластины. В этом случае периметральная присоединенная масса зависит от ширины смоченной поверхности клина.

При внешнем угле килеватости $\beta = 15^\circ$ Вагнер учитывает увеличение ширины смоченной поверхности, вызываемое вступлением жидкости. При $\beta < 15^\circ$ этим влиянием можно пренебречь, что существенно упрощает дальнейшие выкладки.

Таким образом, присоединенная масса жидкости представляет собой функцию полуширины S смоченной поверхности.

На рис. 109 полуширина смоченной поверхности, определенная с учетом встречного движения жидкости, обозначена через S_1 , а без учета — через S .

Для определения сил, действующих при ударе, нужно найти функцию

$$h = f(S), \quad (6.37)$$

где h — глубина погружения.

Вид этой функции зависит только от формы клина. Присоединенная масса жидкости может быть приближенно определена по формуле

$$m_{до} = \rho V^2 \operatorname{ctg} \beta \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{2} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(1 - \frac{\beta}{2}\right)} - 1 \right], \quad (6.38)$$

где ρ — плотность воды;
 h — глубина погружения;
 β — средний внешний угол килеватости;
 Γ — гамма-функция (здесь интеграл второго рода).
 Так как

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{c}{z}$$

$$h = \operatorname{ctg} \beta \cdot z$$

формулу (6.38) можно привести к виду

$$m_{до} = \rho c^2 \operatorname{tg} \beta \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{2} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(1 - \frac{\beta}{2}\right)} - 1 \right]. \quad (6.39)$$

Обозначим

$$\kappa(\beta) = \operatorname{tg} \beta \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{2} - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{\beta}{2}\right) \cdot \Gamma\left(1 - \frac{\beta}{2}\right)} - 1 \right].$$

Тогда присоединенная масса жидкости

$$m_{до} = \rho c^2 \kappa(\beta). \quad (6.40)$$

Функция $\kappa(\beta)$ представлена на рис. 110.

Так как $\kappa(\beta)$ в процессе удара меняется незначительно, а дальнейшим для простоты будем считать $\kappa(\beta) = \operatorname{const}$, где β — средний угол килеватости дна.

Дифференциальное уравнение движения клина

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} = K, \quad (6.41)$$

где M — погонная масса клина;
 F — погонная реакция жидкости.

При учете только инерционных свойств жидкости реакцию можно записать

$$F = - \frac{d}{dt} \left(m_{до} \frac{dh}{dt} \right) = - \frac{dm_{до}}{dt} \cdot h - m_{до} \frac{d^2 h}{dt^2}. \quad (6.42)$$

Следовательно,

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} = - \frac{dm_{до}}{dt} \cdot h - m_{до} \frac{d^2 h}{dt^2}. \quad (6.43)$$

или

$$(M + m_{до}) \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{dm_{до}}{dt} \cdot h = 0. \quad (6.44)$$

Тогда, окончательно, уравнение движения клина может быть приведено к виду

$$\frac{d}{dt} \left[(M + m_{до}) \frac{dh}{dt} \right] = 0. \quad (6.45)$$

При $t = 0$; $m_{до} = 0$ начальные условия задачи будут

$$\frac{dh}{dt} = W_0$$

где W_0 — скорость встречи с водой;

$$(M + m_{до}) \frac{dh}{dt} = M W_0. \quad (6.46)$$

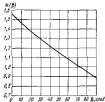


Рис. 110. График функции $\kappa(\beta)$.

или

$$\frac{dv}{dt} = \frac{W_0}{1 + \frac{m_{sp}}{M}} \quad (6.47)$$

С учетом (6.40) отношение m_{sp}/M можно представить в виде

$$\frac{m_{sp}}{M} = \frac{c^2 \beta_0^2}{M} = dC^2, \quad (6.48)$$

где

$$d = \frac{c^2 \beta_0^2}{M}.$$

Тогда скорость погружения клина определяется формулой

$$\frac{dh}{dt} = W = \frac{W_0}{1 + dC^2}, \quad (6.49)$$

На основании последней формулы

$$(1 + dC^2) dh = W_0 dt.$$

После интегрирования получим

$$\int_0^h (1 + dC^2) dh = \int_0^t W_0 dt$$

или

$$h + d \int_0^h C^2 dh = W_0 t + D_1,$$

где D_1 — постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий.При $t = 0$ и $h = 0$ получаем $D_1 = 0$.Окончательная зависимость между глубиной погружения h и временем t определяется выражением

$$t = \frac{1}{W_0} \left(h + d \int_0^h C^2 dh \right). \quad (6.50)$$

Интеграл в правой части последнего выражения зависит только от формы клина. Для клина с переменным углом килеватости его можно вычислить любым из известных приближенных способов.

Теперь переходим к определению силы удара.

Дифференцируя приведенную массу как сложную функцию, можно записать

$$\frac{dm_{sp}}{dt} = \frac{dm_{sp}}{dC} \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \frac{dh}{dt}.$$

Преобразуя выражение (6.48), получаем

$$m_{sp} = \rho c^2 \beta_0^2 C^2 = dMC^2.$$

Дифференцируем последнее выражение

$$\frac{dm_{sp}}{dC} = 2dMC.$$

Тогда

$$\frac{dm_{sp}}{dt} = 2dMC \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \frac{W_0}{1 + dC^2},$$

но

$$\frac{dC}{dt} = \frac{2dC W_0^2}{(1 + dC^2)^2} \cdot \frac{dC}{dh}.$$

Подставляя последнее выражение в (6.42), получим

$$\begin{aligned} F &= -2dMC \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \frac{W_0}{(1 + dC^2)^2} + dMC^2 \cdot \frac{2dC W_0^2}{(1 + dC^2)^2} \cdot \frac{dC}{dh} = \\ &= -2dM W_0^2 \frac{C}{(1 + dC^2)^2} \frac{dC}{dh}. \end{aligned} \quad (6.51)$$

Так как

$$\frac{dh}{dC} = \frac{1}{1 + dC^2},$$

будем иметь

$$F = -2dM W_0^2 \frac{C}{(1 + dC^2)^2 \frac{1}{1 + dC^2}}. \quad (6.52)$$

Последнее выражение позволяет определить погонные силы реакции воды при ударе.

По формуле (6.50) определим зависимость между глубиной погружения h и временем t , затем для каждого значения h вычислим реакцию F и строим график функции $F(h)$.

В случае, когда клин можно считать плоскокилевым, все приведенные выкладки существенно упрощаются.

Тогда $\beta = \text{const} = \beta_0$, а

$$C = \frac{h}{\sqrt{2} l_0}.$$

В этом случае интеграл (6.50) можно вычислять аналитически

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{W_0} \left(h + d \int_0^h C^2 dh \right) = \frac{1}{W_0} \left(h + d \int_0^h \frac{h^2}{2l_0^2} dh \right) = \\ &= \frac{h}{W_0} \left(1 + \frac{dh^2}{12l_0^2} \right). \end{aligned} \quad (6.53)$$

Определим, при какой полуширине сменной поверхности величина реакции жидкости достигает максимального значения (что соответствует условию $\frac{dF}{dC^2} = 0$).

Дифференцируя выражение (6.53) и опуская промежуточные выкладки, получим

$$\frac{1 - 5dC^2}{(1 - 4C^2)^{3/2} \beta_0} = 0.$$

Отсюда $1 - 5dC^2 = 0$.

Следовательно, экстремальное значение реакции F достигается при

$$C = \pm \frac{1}{\sqrt{5d}}. \quad (6.54)$$

Из этих двух значений имеет смысл только положительное значение, поэтому знак минус в последней формуле отбрасывается и окончательно получим

$$C_{\max} = \frac{1}{\sqrt{5d}}. \quad (6.55)$$

Подставив (6.55) в (6.52), получим величину максимальной погонной реакции жидкости

$$F_{\max} = -0,518 \frac{\rho_0 \beta_0 W_0^2}{V^2 d \beta_0}. \quad (6.56)$$

Равнодействующая реакция жидкости будет

$$F_{\text{рез}} = F_{\max} l_{\text{из}} = -0,518 \frac{\rho_0 V^2 W_0^2}{g \beta_0},$$

где $l_{\text{из}}$ — длина поверхности удара (принимается равной длине прямой части вальной линии).

Промежуток времени, в течение которого достигается максимум силы удара,

$$t_0 = \frac{\rho_0 W_0}{g} \left(1 + \frac{4dC_{\max}^2}{3 \beta_0} \right) \approx 0,478 \frac{\rho_0 \beta_0}{W_0 V^2}. \quad (6.57)$$

где $\rho_0 W_0 = C_{\max} 4g \beta_0$.

Скорость кавы в момент, когда реакция достигает максимального значения,

$$W_{\max} = \frac{W_0}{1 - dC_{\max}^2} = \frac{5}{6} W_0. \quad (6.58)$$

Последняя формула подтверждает, что в течение первой фазы удара (до достижения максимума реакции) скорость движения шлюпки практически не меняется.

Теперь можно вычислить инерционную перегрузку (отношение полой силы удара к весу шлюпки)

$$n = \frac{F_{\max}}{D}. \quad (6.59)$$

Далее вычисляем избыточные моменты и переизгибающие силы в корпусе шлюпки, нагруженной силами удара F и погонными силами инерции S

$$S = \eta g r(x). \quad (6.60)$$

где $\eta r(x)$ — погонная масса;

g — ускорение силы тяжести.

Во многих случаях целесообразно сначала провести расчет по упрощенной условной схеме, рассмотренной выше при расчете общего изгиба.

Тогда максимальные значения избыточного момента и переизгибающей силы

$$M = \frac{\rho l^2 \eta g}{8} \quad (6.61)$$

и

$$N = \frac{\rho l^2}{2}. \quad (6.62)$$

В заключение отметим, что в литературе подобных разработок почти не имеется.

В некоторых работах предложено рассматривать шлюпку как балку, свободно опертую по концам и нагруженную равномерно распределенной нагрузкой, равной полному водонизманию. Для такой нагрузки в этих работах и приведен расчет статической общей прочности.

Расчет падения предлагается производить по схеме для глиссерирующих катеров. Поскольку условия падения точно не определены, рекомендуется ограничить для всех шлюпок и катеров дифферент в момент встречи с водой размером 10° , а задний угол килеватости равным 5° .

При расчете жесткой прочности конструкций бортов на удар предлагается принимать в качестве расчетного давления, составляющего 80% от давления, полученного для дна.

В указанных работах нет обоснований предлагаемых рекомендаций. Однако авторы избрали средние параметры условий испытаний.

С таким подходом трудно согласиться, так как он не отражает всего комплекса испытаний, требуемых Регистром СССР.

В условиях эксплуатации возможны различные варианты загрузки шлюпок, причем случай равномерной загрузки при подходе на гатах является одним из наиболее безопасных и маловероятных.

Введение в расчет значительного дифферента неизбежно приводит к недооценке напряжений при обшивании. Рекомендации о выборе для бортов расчетного давления в процентах от давления

на днище при падении не отражает процесс соударения шлюпки с бортом судна.

Для оценки величин действующих нагрузок, получаемых из предлагаемых выше формул, и сравнения их с нагрузками, вычисленными по существующей методике, были произведены расчеты для пяти проектов серийных спасательных шлюпок из стеклопластика* (табл. 18).

Таблица 18

Главные размеры спасательных шлюпок из стеклопластика, для которых были выполнены поперечные расчеты действующих нагрузок при обшивании в воду

Наименование шлюпки, проект	Поперечная ширина, мм.	Главные размеры, м			Век шлюпки в момент столкновения, м	Расстояние между осями шлюпки, м
		длина L	высота B	ширина H		
Закрытие спасательная толеранс ЭСШПТМ-15	35	6,5	2,2	1,1	4,39	4,8
Спасательная ЭСШПМ-40	40	8,5	2,7	1,2	5,95	6,8
Спасательная ЭСШПТМ-45	45	9,5	2,9	1,5	7,53	7,2
Спасательная ЭСШПМ-60	60	9,0	3,0	1,5	7,58	8,0
Спасательная ЭСШПТМ-90	90	10,5	3,7	1,7	10,23	8,8

Величину изгибающих моментов для этих шлюпок определяли из выражения

$$M = 1,25 \frac{Dv}{b}, \quad (6.53)$$

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 19. Из нее видно, что учет рыска при спуске дает существенно заниженные результаты по напряжениям и прогибам.

Таблица 19

Значения прогибов и расчетных величин

Тип шлюпки	Поперечное сечение				Угловое сечение			
	$\frac{D}{L}, \frac{1}{m}$	M, m	$\frac{Dv}{b}, \frac{m^2}{m^2}$	Среднее значение, МПа	K	M, m	$\frac{Dv}{b}, \frac{m^2}{m^2}$	Среднее значение, МПа
ЭСШПТМ-15	72-109	3,1	28,6	0,105	6,92	21,9	200,0	0,726
ЭСШПМ-40	45,5-109	5,31	62,1	0,202	3,46	18,4	215,0	1,91
ЭСШПТМ-45	168-109	7,23	36,5	0,305	4,58	33,1	170,0	1,40
ЭСШПМ-60	107,5-109	8,40	36,4	0,517	3,82	32,1	135,0	1,97
ЭСШПТМ-90	326-109	13,20	31,4	0,377	3,08	34,5	122,0	1,35

* Расчеты выполнены Ю. А. Саврасовым.

§ 20. ВЫБОР МАТЕРИАЛА И СПОСОБ ФОРМОВАНИЯ

Ниже рассмотрены, главным образом, суды народного потребления, так как для специальных катеров и шлюпок, в силу специфики их эксплуатации, решение аналогичных задач, и тем более выдачи рекомендаций, требует более детальных исследований.

Допускается толщину наружной обшивки при шпангоутном наборе в пределах 350—450 мм (в зависимости от применяемого армирующего материала) называть без расчета общей и местной прочности в соответствии с регламентируемыми величинами (табл. 20).

Таблица 20

Нормативные толщины наружной обшивки

Длина корпуса судна, м	Толщина наружной обшивки (в мм) для стеклопластика на клею			
	стекловолокно		жгутовой стекловолокно	
	длина	борт	длина	борт
5	6	6	6	4
8	7	6	6	4,5
9	8	7	7	6
10	9	8	8	7

Требования Регистры РСФСР рекомендуют применять для таких судов в качестве армирующего материала стекловолокно, стеклохолст, рубленое стекловолокно и жгутовую стекловату. Толщины наружной обшивки и настила палубы определяют расчетом из условий местной прочности.

В Правилах Английского Ллояда [75] даже для относительно больших судов рекомендуется использовать более дешевые стеклопластикаты — стекломаты (стеклохолсты), рубленое стекловолокно и стекловолокно. Эти Правила рекомендуют три основных типа армирования при изготовлении наружной обшивки:

Тип I. Основную толщину набирают из стекломатов. По внешней поверхности укладывают 1—3 слоя стеклоткани. Это позволяет значительно уменьшить общее число слоев и снизить трудоемкость изготовления (стекломаты легко укладываются и формируются при сложных обводах корпуса). Механические характеристики стеклопластика, набранного по такой схеме, относительно невысоки, что не имеет существенного значения для рассматриваемых судов (малонагруженных).

Тип II. С внешней стороны укладывают один слой стеклоткани, затем за него один слой стекломата. Набор необходимой толщины производят укладкой слоев жгутовой ткани. Слои ткани на

вышей стороне придает корпусу кавера или якорю хороший внешний вид и обеспечивает хорошее сцепление внешнего декоративного слоя связующего с обшивкой, а слой стекломата служит хорошим барьером против проникновения воды в стеклопластик и препятствует появлению рисунка стекломата на внешней стороне корпуса.

Табл. III. Необходимая толщина и прочность стеклопластика обеспечивается, главным образом, за счет слоя стекломата. На внешнюю поверхность укладывают слой стекломата, затем 1—2 слоя стеклокуга и далее стеклопат. На внутренней стороне также укладывают 1—2 слоя стеклокуга.

Размеры листов обшивки во всех случаях назначаются на условия обеспечения минимального веса единицы объема в зависимости от длины судна и якоря.

Из приведенных данных видно, что общепризнанных рекомендаций для выбора стеклоармирующих материалов не имеется.

Целесообразно получить общие аналитические зависимости, позволяющие определить относительное изменение толщины и веса материала при использовании различных типов стекловолоконителей, и оценить стоимость конструкции в целом.

Многократные испытания стеклопластика показали, что он полностью водонепроницаем при строгом соблюдении технологии изготовления. Однако опыт эксплуатации судов свидетельствует, что в ряде случаев водонепроницаемость конструкций нарушается. Основано, одной из причин фильтрация воды являются трещины, образующиеся в результате появления в материале напряжений. Величина этих напряжений и деформация зависят от свойств компонентов стеклопластика.

При изготовлении корпусов судов из стеклопластика должна обеспечиваться определенная стабильность физико-механических свойств материалов и их толщин. Имеется в виду обеспечение лимитирующих параметров в допустимых пределах.

Ниже приведен анализ основных способов формирования конструкций и факторов, влияющих на стабильность параметров стеклопластика.

Влияние типа стекловолокнистого на вес обшивки

Рассмотрим три пластины наружной обшивки, нагруженные равномерно распределенной нагрузкой с одинаковым осяевым контуром, но армированные различными стекловолокнистыми (рис. 111). Одна пластина армирована стекломатом, вторая — стекловолокном, третья — стекловолокном.

Назначение такой схемы для рассматриваемых судов в большой мере отвечает действительности, так как определяющим фактором для назначения размеров пластин у них является местная прочность. Дифференциальное уравнение изгиба такой пластины

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = q, \quad (6.64)$$

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{E_1 \delta^3}{12(1-\mu_1^2)}; \\ D_2 &= \frac{E_2 \delta^3}{12(1-\mu_1 \mu_2)}; \\ D_3 &= D_2 \mu_2 + 2D_1; \quad D_4 = \frac{G \delta^3}{12}, \end{aligned} \right\} \quad (6.65)$$

где E_1 и μ_1 — модуль нормальной упругости и коэффициент Пуассона в направлении Ox ;

E_2 и μ_2 — модуль нормальной упругости и коэффициент Пуассона в направлении Oy ;

G — модуль сдвига для главного направления;

δ — толщина пластины.

Наибольшее напряжение для жестко заделанных по всему контуру пластин будет на краях пластин. Тогда [62]—выражения для определения напряжений:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \frac{q}{\delta} \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} K_4 \phi^2; \\ \sigma_y &= -\frac{q}{\delta} K_5 \phi^2. \end{aligned} \right\} \quad (6.66)$$

Коэффициенты K_4 и K_5 определяются в зависимости от значений безразмерных параметров

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{a}{b} \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}; \\ m &= \frac{\mu_2 E_1 + 2G(1-\mu_1 \mu_2)}{V E_1 E_2}. \end{aligned} \right\} \quad (6.67)$$

Примем $a/b = 1,5$.

Для стеклопластиков, армированных стекломатом:

$$\left. \begin{aligned} E_1 = E_2 &= 10^9 \text{ кг/см}^2; \quad \mu_1 = \mu_2 = 0,35; \quad G = 0,35 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2; \\ |\sigma| &= 0,35 \sigma_{\text{ст. рас}} \end{aligned} \right\}$$

$$P = \frac{a}{b} \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} = \frac{a}{b};$$

$$m = \frac{0,35 \cdot 10^9 + 2 \cdot 0,35 \cdot 10^9 (1 - 0,35 \cdot 0,35)}{10^9} = 0,97.$$

Для стеклопластика, армированного стекловолокном: $E_1 = E_2 = 1,5 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$; $\mu_1 = \mu_2 = 0,12$; $G = 0,2 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$; $|\sigma| = 0,50 \sigma_{\text{ст. рас}}$; $P = a/b$;

$$m = \frac{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10^9 + 2 \cdot 0,2 \cdot 10^9 (1 - 0,12 \cdot 0,12)}{1,5 \cdot 10^9} = 0,38.$$

Для стеклопластиков, армированных стеклотканью АСТТ (6)-С₂-0;
 $E_1 = 1,7 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$; $E_2 = 1,1 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$; $G = 0,3 \cdot 10^9 \text{ кг/см}^2$;
 $\mu_1 = 0,15$; $\mu_2 = 0,10$; $|\sigma| = 0,5\sigma_{\text{пр.ст.}}$

$$P = \frac{a}{b} \sqrt{\frac{1,1 \cdot 10^9}{1,7 \cdot 10^9}} = 0,9 \frac{a}{b}$$

$$M = \frac{0,30 \cdot 1,7 \cdot 10^9 \cdot 1,3 \cdot 0,3 \cdot 10^9 (1 - 0,15 \cdot 0,10)}{1,7 \cdot 1,1 \cdot 10^9} = 0,58$$

Считаем, что напряжения σ_x и σ_y в (6.66) равны допускаемым. Тогда после подстановки численных значений получим:
 для стеклопластиков, армированных стекломатом

$$\delta = 0,030b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_x;$$

$$\delta = 0,038b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_y;$$

для стеклопластиков, армированных стеклорогожкой

$$\delta = 0,023b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_x;$$

$$\delta = 0,029b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_y;$$

для стеклопластиков, армированных стеклотканью АСТТ0-С₂(6)

$$\delta = 0,022b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_x;$$

$$\delta = 0,029b \sqrt{\bar{q}}, \text{ см по } \sigma_y$$

Если принять толщину стеклопластика, армированного стеклотканью за единицу, можно получить соотношения толщин обшивки, приведенные в табл. 21.

Таблица 21

Соотношения толщин обшивки в зависимости от толщины стеклопластика (принята за единицу)

Направление армирования	Армирующий материал		
	стеклоткань	стеклорогожка	стекломат
По обшивке (σ_x)	1	1,05	1,25
По утку (σ_y)	1	1,31	1,70

Из табл. 21 видно, что применение стеклорогожки и стекломата взамен стеклоткани приводит к относительному увеличению толщины листов обшивки. Однако вес конструкции при этом может и не возрасти, так как расчетные толщины обшивки из стеклопластика на основе стеклоткани, имеющие относительно большой объемный вес, как правило, меньше минимально допустимых.

Так, например, при $q_1 = 0,05 \text{ кг/см}^2$, $q_2 = 0,1 \text{ кг/см}^2$ и $b = 35 \text{ см}$ (все эти данные лежат в пределах реальных нагрузок и

значений для малых судов) расчетная толщина стеклопластика на основе стеклоткани соответственно составит $\delta_1 = 1,7 \text{ мм}$ и $\delta_2 = 2,4 \text{ мм}$, а для стеклопластика на основе стеклорогожки $\delta_1 = 2,25 \text{ мм}$ и $\delta_2 = 3,2 \text{ мм}$.

Эта замена приводит к снижению стоимости материала, трудоемкости изготовления судна и его стоимости в целом.

Влияние типа стеклоармирующего материала на стоимость постройки судна

Выполненные расчеты технико-экономической эффективности и определения целесообразности применения стеклопластиков взамен традиционных материалов (стали, дерева и др.) Установлено, что на стоимость постройки судов из стеклопластика значительно влияет стоимость исходных материалов (A_1), изготовления (A_2), эксплуатация (B).

Для сравнительной оценки целесообразности использования того или иного материала применительно к рассматриваемым судам эту задачу можно существенно упростить.

Рассмотрим влияние каждой статьи на величину расходов.

Стоимость исходных материалов для сравниваемых судов

$$A_1 = Q' C (1 + a); \quad (6.68)$$

$$A_1' = Q' C' (1 + a'), \quad (6.69)$$

где Q' и Q'' — вес корпусов, изготовленных из сравниваемых пластмассовых материалов, кг;

C — стоимость килограмма стеклопластика, руб.;

a — коэффициент, учитывающий процент отходов.

Стоимость изготовления корпусов сравниваемых судов

$$A_2 = k_1 k_2 Q' b' d' + \frac{k_{\text{ос}} C'}{\pi}; \quad (6.70)$$

$$A_2' = k_1' k_2' Q' b' d' + \frac{k_{\text{ос}}' C'}{\pi}, \quad (6.71)$$

где k_1 и k_2 — коэффициенты, учитывающие снижение трудоемкости изготовления в зависимости от серийности;

k_1' и k_2' — коэффициенты, учитывающие величину накладных расходов;

b' и d' — трудоемкости изготовления одного килограмма конструкций, норма-час;

d' и d'' — стоимость одного норма-часа при изготовлении конструкций, руб.;

π — величина серий корпусов, для изготовления которых используется оснастка;

$k_{\text{ос}}$ и $k_{\text{ос}}'$ — коэффициенты, учитывающие износ оснастки.

Стоимость эксплуатации корпуса судна не зависит от марок стеклопластика (даже при изменении веса), так как для малых судов основным критерием является пассажиропропускность.

Учитывая, что корпуса судов, изготовленные из различных пластмасс, строят контактным способом, в выражении (6.70) и (6.71) все параметры (за исключением b) для сравниваемых вариантов будут одинаковыми.

Трудоемкости укладки одного слоя стекловолокна для сравниваемых вариантов по существу не отличаются: $db' = b'$; $db'' = b''$ (где b — трудоемкость укладки одного слоя стекловолокна, м/ч; b' и b'' — количество слоев стекловолокна). Экономическая эффективность в процентах

$$\Theta \approx \left(1 - \varphi_1 \frac{C' + db''}{C'' + db''}\right) 100\%, \quad (6.72)$$

где $\varphi_1 = \frac{G}{G_0}$ — относительное изменение веса корпуса.

Основные затраты на изготовление судов сравниваемых вариантов зависят от стоимости изготовления обшивки и материала для нее. Так как размеры рассматриваемых судов выбирают исходя из условий местной прочности при действии поперечной нагрузки, то φ_1 можно определять при условии равной жесткости

$$\varphi_1 = \left(\frac{E'}{E''}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{Y_{01}}{Y_{02}} \quad (6.73)$$

и при условии равной прочности

$$\varphi_2 = \left(\frac{\sigma_{\text{нр}}'}{\sigma_{\text{нр}}''}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{Y_{01}}{Y_{02}}, \quad (6.74)$$

где $\sigma_{\text{нр}}$ — расчетный предел прочности;

E — модуль нормальной упругости материала;

Y_{01} — удельный вес стеклопластика.

Относительное содержание стекла по весу в стеклопластике

$$S = \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{ст}} + Y_{\text{ст}}}, \quad (6.75)$$

где $P_{\text{ст}}$ — вес стекла в стеклопластике, кг;

$P_{\text{ст}} + Y_{\text{ст}}$ — вес стеклопластика, кг;

$Y_{\text{ст}} = 0,56$ — удельный вес стекловолокна, кг/см³;

$Y_{\text{ст}} = 0,0303n_1 p$ — относительное содержание стекла по объему [62];

n_1 — количество слоев стекловолокна в одном сантиметре толщины стеклопластика;

p — вес одного слоя стекловолокна, кг/м².

После подстановки (6.75) и (6.72) и некоторых преобразований получим

$$\Theta = \left[1 - \varphi_1 \frac{S' C'_{\text{ст}} + (1 - S') C'_{\text{ст}}}{S'' C'_{\text{ст}} + (1 - S'') C'_{\text{ст}}}\right] \frac{P' + 10S' Y_{01}}{P'' + 10S'' Y_{01}} 100\%, \quad (6.76)$$

где $C'_{\text{ст}}$ — стоимость одного килограмма смолы;

$C'_{\text{ст}}$ — стоимость одного килограмма стекловолокна.

Выражение (6.76) позволяет оценить эффективность замены одного стеклопластика другим.

Рассмотрим пример для судов из стеклопластика на основе стекловолокна ТЖС-0,6-7-0 и из стеклопластика АСТТ (6)-С₂О (табл. 22).

При соблюдении необходимой жесткости листов стеклопластика, имеющих малые толщины, прочность обеспечивается. Поэтому при замене стеклопластика стекловолокнистой или стекломатом стоимость судна снижается.

Характеристики стеклопластика композитной структуры на основе стекломата с различным содержанием стекловолокна приведены в табл. 23.

На графике (рис. 112) видно, что стоимость стеклопластиковой композитной структуры армированной с увеличением относительного содержания стекловолокна уменьшается. При соблюдении условия равной прочности экономическая эффективность выше, чем при соблюдении условия равной жесткости, что объясняется более высокими прочностными показателями.

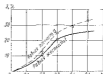


Рис. 112. График зависимости стоимости единицы вострой суды при применении различных стеклопластиков: а — при соблюдении условия равной прочности; б — при условии равной жесткости.

Θ — экономическая эффективность; K — относительная толщина слоя стеклопластика на основе стекловолокна и смолы, тол. мм.

Характеристика армированных материалов

Наименование сравниваемого материала	Характеристики				
	Вес 1 м ² (кг), μ	Содержание $\sigma_{\text{нр}}$ (кг/см ²), $\rho_{\text{нр}}$	Плотность (г/см ³), ρ	Модуль упругости (кг/см ²), E	Среднее относительное удлинение ($\epsilon_{\text{нр}}$), $\epsilon_{\text{нр}}$
Стекловолокно ТЖС-0,6-7-0	0,87	0,55	1,07	$1,5 \cdot 10^4$	1500
Стекловолокно АСТТ (6)-С ₂ О	0,975	0,39	1,07	$1,7 \cdot 10^4$	2700

Таблица 22

Характеристика стеклопластика композитной структуры на основе стекломата

Относительное содержание смолы в композитной структуре (по объему), K	Относительное содержание смолы	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, кг/см ² ($\cdot 10^4$)	Временное сопротивление разрыву, кг/см ²
0,5	0,40	1,58	2	1140
0,4	0,42	1,59	26	1130
0,3	0,44	1,59	38	1170
0,2	0,46	1,62	38	1110
0	0,50	1,65	50	1100

Влияние параметров стеклонаполнителя и связующего на непроницаемость стеклопластика

В процессе эксплуатации и результате возникновения напряжений могут появиться трещины, что приведет к нарушению непроницаемости. Поэтому нужно оценить влияние компонентов и параметров стеклопластика на его водонепроницаемость.

В общем случае стеклопластиком можно рассматривать как материал, обладающий тремя взаимно перпендикулярными плоскостями узурной симметрии.

При действии усилия в плоскости пластины в силу совместности деформации продольных и поперечных волокон или слоев (стеклонаполнителя и связующего) стеклопластика нужно соблюдать условие [66]

$$\Delta l_{sp} = \Delta l_{cs} \quad (6.77)$$

где Δl_{sp} — удлинение продольных слоев;

Δl_{cs} — удлинение поперечных слоев.

Если усилие направлено вдоль продольных прядей, удлинение их на участке, равном l , составит

$$\Delta l_{sp} = \epsilon_x l \quad (6.78)$$

и, соответственно,

$$\Delta l_{cs} = \epsilon_y l \quad (6.79)$$

где ϵ_x — относительное удлинение волокон (продольных) стеклопластика (можно считать, что для неразученных прядей оно равно относительному удлинению стеклонного волокна).

Ввиду неизменности поперечных сечений волокон (прядей) можно считать, что деформация в поперечном направлении (Δl_y) осуществляется за счет связующего.

Если расстояние между прядями равно a и диаметр волокон (прядей) d , то условие (6.79) при $l = 1$

$$\frac{a}{a+d} \epsilon_{cs} = \epsilon_x \quad (6.80)$$

где ϵ_{cs} — относительное удлинение связующего (связки).

Увеличение деформационной способности связующего благоприятно скажется за совместности работы слоев стеклонаполнителя и непроницаемости материала.

Отсюда условие непроницаемости

$$\frac{a}{a+d} \epsilon_{cs} \geq \epsilon_x \quad (6.81)$$

Расстояние между волокнами и диаметр волокон (прядей) по существу определяется относительным содержанием стекла в стеклопластике, от которого зависит прочность стеклопластиков.

Относительное содержание связующего в стеклопластике при армировании нитями стекла в одном направлении определяется (рис. 113, а) из выражения [62]

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d^2}{(a+d)^2} \quad (6.82)$$

где α — относительное содержание стекла (по площади и по объему).

Коэффициент армирования (рис. 113, б)

$$\alpha = \frac{\pi d^2}{3,46(a+d)^2} \quad (6.83)$$

Из (6.82) и (6.83) получим

$$\alpha \leq \frac{\pi}{4} \left(1 - \frac{r_0}{r_{cs}}\right)^2; \quad (6.84)$$

$$\alpha \leq \frac{\pi}{3,46} \left(1 - \frac{r_0}{r_{cs}}\right)^2;$$

В практике определяют относительное содержание стекла по весу, которое определяют из выражений

$$S = \frac{\alpha \rho_{cs}}{\gamma_{cs}} \quad (6.85)$$

где γ_{cs} — плотность стекла, $\alpha/\text{см}^2$;

γ_{cs} — плотность стеклопластика, $\alpha/\text{см}^2$.

Для суточных стеклопластиков, армированных стеклотканями $S \approx 0,5$, а стекломатом — $S = 0,35$. Соответственно γ_{cs} равно 1,7 и 1,55 $\alpha/\text{см}^2$, а $\epsilon_x = 2,0\%$.

Для обеспечения герметичности стеклопластиков необходимо, чтобы относительное удлинение связующего удовлетворяло следующим условиям:

для стеклоткани $\epsilon_{cs} > 6,45\%$;

для стекломата $\epsilon_{cs} > 4,45\%$.

Если ϵ_{cs} окажется меньше этих величин, стеклопластики потеряют непроницаемость раньше, чем исчерпают способность.

Из (6.81) следует, что повышение ϵ_{cs} приводит к увеличению непроницаемости стеклопластика и одновременно повышает допустимое значение относительного содержания стекла (6.84) и прочность материала в целом. Однако увеличение прочности возможно при условии, что модуль упругости связки остается неизменным, так как предел прочности стеклопластика

$$\sigma_{sp} = \sum T_i + (1 - \alpha_0) \sigma_{sp} \frac{E_{cs}}{E_{cs}}$$

Увеличение E_{cs} приводит, как правило, к снижению непроницаемости и прочности стеклопластика, а уменьшение E_{cs} приводит к увеличению непроницаемости и к повышению прочности материала (увеличивается S).

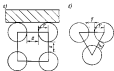


Рис. 113. Схемы укладки волокон в стеклопластике.

В реальных конструкциях улучшение герметичности может быть достигнуто за счет уменьшения действительных деформаций, например, за счет увеличения площади сечения. Это может привести к неоправданному увеличению веса конструкций. Поэтому следует считать, что запас непроницаемости в условиях эксплуатации обеспечивается за счет больших коэффициентов запаса на прочность, применяемых при расчете. Учитывая, что действительные напряжения в корпусах рассматриваемых судов весьма незначительны, такой запас служит гарантией в их непроницаемости.

Из полученных выражений трудно определить зависимость герметичности от типа стеклопакетов и структуры армирова-



Рис. 114. Схема деформации стеклянных прядей.

ния. Для тканей полотняного переплетения при действии силы вдоль основы (или утка) действительная деформация стеклопакетов, способная растаскивать пряди утка, будет зависеть от угла α (рис. 114).

Условие непроницаемости (6.81)

$$\epsilon_c \cos \alpha \leq \frac{a}{a+d} \quad (6.86)$$

Отсюда следует, что стеклопластики на основе тканей полотняного переплетения обладают большей непроницаемостью, чем стеклопластики на основе тканей сатиновых или кордных.

Для стеклопластиков диагональной структуры армирования это условие

$$\epsilon_c \cos \beta \leq \frac{a}{a-d} \quad (6.87)$$

где β — угол между основой и направлением действия усилий.

Также стеклопластики более герметичны, что подтверждается практикой.

Можно сделать вывод, что непроницаемость стеклопластика зависит не только от технологических режимов формирования и полимеризации, но и от напряженного состояния конструкции, свойств компонентов, типа стеклопакетов и структуры армирования.

Так как для мелких судов целесообразно использовать стеклопакеты с большим диаметром волокон (стеклорогожки, стекломаты), то для уменьшения вероятности фильтрации воды для наружных слоев следует применять стеклоткани.

Влияние способов формирования на качество конструкции

Существует много способов формирования судовых конструкций из стеклопластиков.

Учитывая степень стабильности физико-механических и геометрических параметров материалов, обеспечивающим признаком можно считать характер силового воздействия на стеклопакетовый. Тогда все способы формирования корпусов мелких судов можно разделить на четыре группы (табл. 24).

Ниже приведены характеристики каждой из групп.

Таблица 24

Влияемость способов формирования с давлением, содержанием стекла и толщиной стеклопакетов

Способ формирования	Свойствами тканей		
	давление	относительное содержание стекла	толщина
Контактное формирование	$P \approx 0$	$\alpha \neq \text{const}$	$\delta \neq \text{const}$
Жесткое формирование	$P \neq \text{const}$	$\alpha \neq \text{const}$	$\delta = \text{const}$
Угругое формирование	$P = \text{const}$	$\alpha = \text{const}$	$\delta \neq \text{const}$
Напыление	$P \approx 0$	$\alpha = \text{const}$	$\delta \neq \text{const}$

Контактное формирование

Процесс формирования и отверждения происходит без давления. Поэтому относительное содержание стекла мало и нестабильно. Такими являются и физико-механические свойства материала. Обеспечить постоянную толщину по всей формируемой площади также невозможно.

Жесткое формирование (прессование, формование, способ совмещения форм)

Процесс отверждения происходит под давлением. Однако передача давления на стеклопластик не равномерна по всей поверхности изделия из-за технологических наклеек листов стеклоармирующих материалов. В месте наклеята давление максимально и может привести к продольному стеклопластику. Кроме того, равномерность давления нарушается из-за формы (вертикальные и горизонтальные участки), обеспечивается постоянная толщина, но относительное содержание стекла нестабильно.

Угругое формирование (формование с помощью аэстатичного пуансона)

Равномерность давления обеспечивается из-за способности эластичной диафрагмы (резины) к местной податливости. Эластичный пуансон изгибается в соответствии с возможными не-

ровностями, сохраняя на всех участках постоянное давление. Это способствует постоянству физико-механических свойств материала. Толщина листов нестабильна.

Способ напыления

Процесс формирования и отверждения происходит при давлении, близком к нулю. Однако этот способ гарантирует строгое соответствие количества компонентов к относительное содержание стекла, близкое к стабильному. Разброс размеров по толщине значителен.

С точки зрения обеспечения постоянства физико-механических свойств материала рациональным является способ упругого формирования. Возможные отклонения толщины обшивки при этом не могут привести к существенному снижению несущей способности конструкции.

Способ напыления является наиболее производственным. При большой серийности мелких судов он имеет существенное значение.

§ 27.

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Выбор системы набора

Выбор системы набора обуславливается для малых судов конструктивно-технологическими соображениями. Независимую роль играет вес конструкции. Одно из решений задачи можно представить в следующем виде.

Полагаем, что система набора корпуса определяется системой набора днища, которое для рассматриваемых судов испытывает главным образом напряжения от местного изгиба. Если возможно осуществить поперечную и продольную системы набора, то оптимальную систему можно определить, сравнивая приведенные площади или толщины перекрытий F_{Σ}^* и F_{Σ}^{**} :

$$F_{\Sigma}^* = \delta + \Delta\delta_b + \Delta\delta_k; \quad (6.88)$$

$$F_{\Sigma}^{**} = \delta + \Delta\delta_b + \Delta\delta_k + \Delta\delta_p, \quad (6.89)$$

где F_{Σ}^* и F_{Σ}^{**} — суммарные приведенные площади перекрытия (днища) соответственно при поперечной и продольной системе набора;

- δ — толщина листов обшивки;
- $\Delta\delta_b$ — приведенная площадь флора;
- $\Delta\delta_k$ — приведенная площадь киля;
- $\Delta\delta_p$ — приведенная площадь ребра жесткости.

Тогда для поперечной системы набора толщину пластин обшивки можно определить, исходя из условия прочности

$$\delta = \left(\frac{P}{2\sigma_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}} a, \quad (6.90)$$

где P — давление воды на днище, кгс/см²;

a — ширина;

$\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемые напряжения.

Расчет приведенной площади флора (балка, свободно опертая на борту и жестко заделанная на киле)

Изгибающий момент (расчетный)

$$M_{\text{расч}} = \frac{P a l_b^2}{142}. \quad (6.91)$$

Момент сопротивления флора

$$W_{\text{ф}} = \frac{M_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}}. \quad (6.92)$$

Удельная площадь флора

$$C_{\text{ф}} = \frac{F_{\text{ф}}}{W_{\text{ф}}} = \frac{F_{\text{ф}}}{\left(\frac{M_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}}}. \quad (6.93)$$

Отсюда площадь сечения флора

$$F_{\text{ф}} = C_{\text{ф}} \left(\frac{M_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.94)$$

а приведенная площадь флора

$$\Delta\delta_{\text{ф}} = C_{\text{ф}} \frac{1}{a} \left(\frac{M_{\text{расч}}}{\sigma_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.95)$$

Учитывая (6.90), получим

$$\Delta\delta_{\text{ф}} = C_{\text{ф}} \left(\frac{P}{142 \sigma_{\text{доп}}} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{l_b} a^{-\frac{1}{2}}, \quad (6.96)$$

где l_b — длина флора;

$\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемые напряжения.

Расчет приведенной площади киля (балка, свободно опертая по концам)

Расчетный изгибающий момент

$$M_{\text{расч}} = \frac{P l_b^2}{8}. \quad (6.97)$$

Площадь сечения киля

$$F_{\text{к}} = C_{\text{к}} W_{\text{к}}^{\frac{2}{3}}. \quad (6.98)$$

Приведенная площадь кила

$$\Delta \delta_k = C_k \left(\frac{P}{8\sigma_{\text{дон}}} \right)^{\frac{1}{2}} l_k^{-\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}}, \quad (6.99)$$

где m — число шпангоутов.

Для продольной системы набора считаем, что силы взаимодействия со стороны флоры на киль и наоборот отсутствуют.

Толщина листов обшивки

$$\delta = \left(\frac{P}{8\sigma_{\text{дон}}} \right)^{\frac{1}{2}} C_k, \quad (6.100)$$

где C_k — расстояние между продольными ребрами жесткости.

Приведенная площадь флоры при числе шпангоутов между флорами, равном m , из (6.95)

$$\Delta \delta_f = C_f \left(\frac{P}{8\sigma_{\text{дон}}} \right)^{\frac{1}{2}} l_f^{\frac{1}{2}} m^{-\frac{1}{2}} a^{-\frac{1}{2}}. \quad (6.101)$$

Приведенная площадь ребра жесткости

Расчетный изгибающий момент

$$M_{\text{расч}} = \frac{P (m a)^2}{12}. \quad (6.102)$$

По аналогии получим приведенную площадь ребра жесткости

$$\Delta \delta_r = C_r C^{-\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} \left(\frac{a}{l} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{P}{8\sigma_{\text{дон}}} \right)^{\frac{1}{2}} a^{\frac{1}{2}}. \quad (6.103)$$

Подставляя полученные значения приведенных площадей элементов перекрытия при различных системах набора соответственно в (6.88) и (6.89) и сравнивая эти величины, можно оценить степень целесообразности применения той или иной системы набора для данного судна.

Полученные выражения могут быть также использованы для выбора оптимальной шпангоута. Для поперечной системы набора, например, эти условия можно записать уравнением

$$\frac{\partial}{\partial m} (\delta + \Delta \delta_f + \Delta \delta_r) = 0. \quad (6.104)$$

Выбор формы поперечного сечения корпуса

Выше говорилось, что выбор формы поперечного сечения корпуса для малых судов позволяет поставить вопросы о несущей способности конструкций.

Днище может быть образовано из двух плоскостей (рис. 115) или изогнутых пластины, пересекающихся между собой по линии киля.

Рассмотрим первый (наиболее простой) случай килеватости, имея в виду, что полученное для него решение может быть практически использовано для всех обычных образований днищевой части малого судна, в том числе и для второго случая (радиус закругления относительно велик).



Рис. 115. Формы килеватости днища.

Считаем, что днище воспринимает нагрузку только от давления воды (расчетная нагрузка для таких типов судов), а материал корпуса — изогнутые стеклопластики. Полагаем, что при изгибе днища средняя килевая линия принимает форму кривой $y = f(x)$, изображенной на рис. 116.



Рис. 116. Форма изгиба килевой линии днища. Рис. 117. Схема перемещения поперечного сечения днища.

Вертикальные перемещения точек киля (рис. 117) сопровождаются перемещениями кромок плоских участков днища на величину

$$u = y \sin \beta = f(x) \sin \beta. \quad (6.105)$$

Эти перемещения происходят за счет деформации сжатия и сдвига плоских участков днища и сопровождаются накоплением в этих участках потенциальной энергии, соответствующей этой деформации. Количество потенциальной энергии плоских участков днища определяется следующими выражениями [69]:

при свободном опирании днища (на поперечных переборках)

$$f(x) = f_0 \sin \frac{\pi x}{l} \quad (6.106)$$

$$V = \frac{\pi}{4} E \delta f_0^2 \sin \beta; \quad (6.107)$$

при жестко заданных конструкциях

$$f(x) = \frac{f_0}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L} \right) \quad (6.108)$$

и

$$V = \frac{\pi}{8} E \delta f_0 \sin^2 \beta, \quad (6.109)$$

где δ — толщина листов днища;

L — расстояние между опорами (переборками);

E — модуль нормальной упругости;

β — угол килеватости (см. рис. 115).

При наличии килевой балки с моментом изгиба J , потенциальная энергия изгиба этой балки была бы, соответственно, равна

$$V = \frac{\pi^4}{4} \cdot \frac{EJ}{L^3} f_0^2, \quad (6.110)$$

$$V = \pi^4 \frac{EJ}{L^3} f_0^2, \quad (6.111)$$

Привравняв (6.107) к (6.110) и (6.109) к (6.111), найдем, что влияние килеватости днища на его жесткость эквивалентно влиянию килевой балки, имеющей в первом случае

$$J' = \frac{ML^3}{\pi^2} \sin^2 \beta \quad (6.112)$$

и во втором случае

$$J' = \frac{6L^3}{8\pi^2} \sin^2 \beta, \quad (6.113)$$

Влияние килеватости днища на его прочность зависит от системы набора. При чисто продольной системе влияние килеватости незначительно, так как килеватость приводит к увеличению жесткости только одной продольной балке. При поперечной системе набора увеличивается жесткость перекарестной балки, что увеличивает прочность перекрытия в целом.

Таким образом, влияние килеватости на прочность днища учитывается введением в набор днища дополнительной, фиктивной килевой балки с моментом изгиба J' , определяемым по (6.112) или (6.113), который суммируется с моментом изгиба J существующего кила. После определения условий, действующих на такую составную килевую балку, и соответствующих этим условиямгибающих моментов и разрывающих сил, их делят на две части, пропорционально величинам J и J' . Часть, пропорциональную J , принимают в качестве расчетных для проверки прочности кила. Та часть усилия, которая воспринимается фиктивной балкой (6.112), передается на поперечные переборки плоским участком днища, которое должно быть рассчитано на это усилие.

В случае применения для вертикального кила другого материала (например, дерева) в выражения (6.112) и (6.113) вводят дополнительные множители, равные E_1/E (E_1 — модуль упругости материала обшивки; E — модуль упругости кила).

Приближая во внимание, что суда рассматриваемого типа, как правило, имеют поперечную систему набора, задача о расчете днища может быть сведена к расчету перекарестия с большим числом балок главного направления и одной поперечной связью — килем (рис. 118), нагруженным равномерно распределенной нагрузкой.

Считаем, что все балки свободно оперты на жесткие опоры, тогда прочность балки главного направления может быть определена из преобразованного выражения для изгибающего момента

$$M = \frac{J'}{J' + J} \left[\frac{Pl}{8} - 0,18Pl\chi_4(\mu) \right], \quad (6.114)$$

где P — интенсивность нагрузки;

$\chi_4(\mu)$ — табулированная функция

$$\mu = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{48EI}{4l^2E(J' + J)}}. \quad (6.115)$$

Расчетные значения изгибающего момента для перекарестной балки

$$M_{\max} = - \frac{J}{J' + J} \cdot \frac{Pl^2}{8} \chi_6(\mu), \quad (6.116)$$

где $\chi_6(\mu)$ — табулированная функция.

В случае применения изогнутых пластин можно осуществить проверку их прочности.

Для свободно опертой по контуру пластины максимальный прогиб определяется из выражения

$$f_{\max} = \frac{3}{128} \cdot \frac{Pl^4}{Eh^3}, \quad (6.117)$$

Максимальные напряжения

$$\sigma_{\max} = \frac{4EN_{\max}}{C^2} = \frac{Pl^2}{e^2 (f_0 - f_{\max})}, \quad (6.118)$$

где f_0 — начальная стрелка прогиба.

Стрелку прогиба можно приближенно определить по выражению

$$f_0 = \frac{Cl}{8r}, \quad (6.119)$$

где r — радиус прогиба.



Рис. 118. Система набора днища с перекарестием.

J — балка; J' — момент килевой балки главного направления (киль); l — момент килевой перекарестной балки (связь); l' — длина перекарестной балки.

Таким образом, одним из путей увеличения несущей способности наиболее нагруженного перекрытия — днищного — является придание ему килеватости. Причем, как следует из (6.118) и (6.119), целесообразно применять изогнутые пластины, что скажется положительно и на скоростных показателях судов.

Влияние геометрических и физико-механических параметров элементов днищного перекрытия на величину шпанги

Отметим, что днищное перекрытие состоит из вертикального киля и часто расставленных флоров (см. рис. 118), киль (перекрестная балка) и флоры (балка главного направления) свободно открыты на жесткие опоры.

Условная реакция в средних узлах перекрытия балки

$$R = 0,83Pa^2 \varphi_0 (u). \quad (6.120)$$

Наибольший изгибающий момент в середине пролета балки главного направления

$$M_{max} = \frac{Pa^2 l}{8} - \frac{Rl}{4}. \quad (6.121)$$

Полагая, что напряжение в этих балках равно допускаемому

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_0} = \sigma_{доп}. \quad (6.122)$$

где W_0 — момент сопротивления флора.

Из этого выражения азгрудно получить значение R , соответствующее допускаемому напряжению. Тогда, приравняв реакции, получаемые из (6.120) и (6.121), после соответствующих преобразований получим

$$1,66Pa^2 \varphi_0 (u) - Pml^2 - 8\sigma_{доп} W_0. \quad (6.123)$$

где $m = a/l$.

Отсюда

$$m = 1,66\varphi_0 (u) + \frac{8\sigma_{доп} W_0}{Pl}. \quad (6.124)$$

На соотношение a/l накладывает ограничение условие местной прочности пластины. Полагая, что напряжения в ней не должны превышать допустимых. Тогда расстояние между флорами в зависимости от толщины пластины (при условии ее жесткой заделки по контуру) можно определить из выражения

$$a = \frac{b}{\sqrt{\frac{P}{2\sigma_{доп}}}}. \quad (6.125)$$

Подставляя полученное значение в (6.124), после преобразования получим

$$m = \frac{1,66\varphi_0 (u) + \frac{8\sigma_{доп} W_0}{Pl}}{\sqrt{\frac{P}{2\sigma_{доп}}}}. \quad (6.126)$$

Это выражение позволяет оценить влияние конструктивных и механических параметров элементов перекрытия на величину шпанги. Оно также позволяет определить пути возможной унификации конструкции судов такого типа.

Определим из выражения (6.126), как меняется $m = a/l$ в зависимости от изменения входных в него четырех параметров. Решение можно выполнять методом последовательных приближений или графически:

1. Влияние изменения свойств материала $\sigma_{доп}$ (рис. 119) — пунктирные линии.

Исходные данные: $P = 0,1 \text{ кл/см}^2$; $J = 400 \text{ см}^4$; $l = 100 \text{ см}$; $W_0 = 20 \text{ см}^3$; $l = 150 \text{ см}$; $L = 600 \text{ см}$; $\sigma_{доп} = 350 \text{ кл/см}^2$; $\sigma_{доп} = 600 \text{ кл/см}^2$.

2. Влияние изменения толщины обшивки δ (табл. 25; на рис. 119 сплошные линии). Исходные данные: $\delta_1 = 0,4 \text{ см}$; $\delta_2 = 0,6 \text{ см}$; $\delta_3 = 0,8 \text{ см}$; $\sigma_{доп} = 350 \text{ кл/см}^2$; $\sigma_{доп} = 600 \text{ кл/см}^2$.

Значение остальных параметров такое же, как в первом случае.

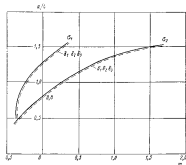
3. Влияние изменения размеров набора l/l (табл. 26; рис. 120). Исходные данные: $P = 0,1 \text{ кл/см}^2$; $W_0 = 20 \text{ см}^3$; $l = 150 \text{ см}$; $L = 600 \text{ см}$; $\sigma_{доп} = 350 \text{ кл/см}^2$; $l/l = 1/2$; $1/3$; $1/4$; $\delta = 0,4 \text{ см}$.

Таблица 25

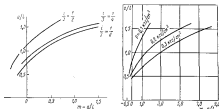
Изменение шпанги при $\sigma_{доп} = 350$ кл/см² и $\delta = 0,4$ см

Изменение параметра	$\sigma_{доп} = 350$				$\sigma_{доп} = 600$			
	$\delta_1 = 0,4$	$\delta_2 = 0,6$	$\delta_3 = 0,8$	$l/l = 1/2$	$\delta_1 = 0,4$	$\delta_2 = 0,6$	$\delta_3 = 0,8$	$l/l = 1/2$
Изменение шпанги a/l	0,5	0,281	0,202	0,131	0,132	0,132	0,132	0,132
	1,0	1,26	1,26	0,77	0,772	0,774	0,774	0,774
Изменение отношения a/l к шпанге	1,0	3,91	3,01	1,79	1,80	1,80	1,80	1,80
	1,5	5,8	4,5	2,68	2,69	2,69	2,69	2,69

4. Влияние изменения нагрузки P (табл. 27; рис. 121).
 Исходные данные: $J = 400 \text{ см}^4$; $i = 100 \text{ см}^3$; $W_b = 20 \text{ см}^3$; $l = 150 \text{ см}$; $L = 600 \text{ см}$; $\sigma_{\text{доп}} = 350 \text{ кгс/см}^2$; $\delta = 0,4 \text{ см}$; $P_1 = 0,1 \text{ кгс/см}^2$; $P_2 = 0,2 \text{ кгс/см}^2$; $P_3 = 0,3 \text{ кгс/см}^2$.

Рис. 119. График функции m .

Из приведенных рисунков и таблиц видно, что наибольшее влияние на изменение a/l (или шагшипа) оказывает изменение свойств материала обшивки ($\sigma_{\text{доп}}$). Изменение толщины листов при данном

Рис. 120. График функции $m=f(a/l, n)$.Рис. 121. График функции $m=f(a/l, P)$.

Изменение шагшипа в зависимости от размеров набора

Относительное расстояние между флорами Δ для каждого a/l	При U/I постоянные шагшипы					
	$10\%U = \frac{1}{2}$	$10\%U = \frac{1}{4}$	$10\%U = \frac{1}{3}$	$10\%U = \frac{1}{2}$	$10\%U = \frac{2}{3}$	$10\%U = \frac{3}{4}$
	$n = 1,5$			$n = 1,0$		
0,5	0,105	0,223	0,302	-0,385	-0,277	-0,198
1,0	0,890	1,219	1,330	-0,110	0,210	0,330
1,5	1,970	2,680	2,960	0,47	1,190	1,960

Таблица 27

Изменение шагшипа в зависимости от нагрузки

Относительное расстояние между флорами Δ для каждого a/l	При P постоянных шагшипы					
	$P_1 = 0,1$	$P_2 = 0,2$	$P_3 = 0,3$	$P_1 = 0,1$	$P_2 = 0,2$	$P_3 = 0,3$
	$n = 1,5$			$n = 1,0$		
0,5	0,20	0,40	0,61	-0,20	-0,10	0,11
1,0	1,24	2,50	3,80	0,24	1,50	2,80
1,5	3,0	6,65	9,15	1,50	4,55	7,65

материале в пределах реальных отношений a/l по существу не сказывается на изменении необходимого расстояния между флорами. Также незначительно сказывается изменение размера набора и нагрузки на перекрытие.

Поэтому целесообразно для малых судов применять стеклопластики одной марки, что позволит принимать одинаковую шагшипа для всех судов такого типа. Рекомендуется также установить одинаковые размеры элементов обшивки и набора. Это позволит решить вопрос об унификации конструкций малых судов.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА И МЕХАНИЗАЦИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

■

§ 28.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Технологичность — одно из важных свойств, учитываемых в процессе проектирования судна и при разработке его отдельных конструкций. Это свойство характеризует возможность изготовления конструкции с наименьшими затратами материалов и труда.

Технологичной называют конструкцию, удовлетворяющую требованиям технологии изготовления отдельных ее узлов и всего изделия в целом. Она должна соответствовать требованиям организации и экономики производства, должна иметь минимальную материалоемкость и себестоимость и т. п.

Вопросам технологичности конструкций уделяется большое внимание [17]. Она характеризуется использованием наиболее прогрессивных технологических процессов, выполнимостью, высоким качеством и надежностью.

Технологичность отдельных конструкций следует рассматривать в комплексе с корпусом судна в целом. При этом надо учитывать практику на предприятиях технологии выполнения работ в конкретных условиях производства.

Оценку технологичности предлагают производить на основе выбора материала конструкции; возможности разработки конструкции, обеспечивающих простоту их изготовления и сборки; разделение конструкций на узлы, обеспечивающие возможность параллельной работы и применения механизированных методов работы; унификацию конструкций и их отдельных узлов и деталей, ограничения типов-размеров; использования оптимальных технологических процессов; выбора рациональной оснастки и оборудования; обеспечение качественного изготовления конструкций и выбора методов контроля; выбора технологических допусков и припусков и т. п.

По степени технологичности определяются, насколько конструкция соответствует условиям завода-строителя судна и передовой технологии.

По технологии изготовления и по конструкции корпус судна из стеклопластика отличается от металлического. Поэтому специфичны требования и технологичности конструкций пластмассового корпуса.

В пластмассовом судостроении материал корпуса — стеклопластик — получается в процессе формирования корпусной конструкции на специальной оснастке, придающей этой конструкции заданную форму. Стеклопластик изготавливают из отдельных компонентов,

основными из которых являются стеклоармирующий материал и связующее.

При постройке судна (кроме сборки корпуса из отдельных, заранее изготовленных деталей, узлов и секций) важнейшей и основной частью технологического процесса изготовления корпуса является технология формирования стеклопластика, обеспечивающая получение материала с заданными габаритами, толщинами и формой и необходимыми физико-механическими характеристиками.

Появилась возможность изготавливать всю обшивку и чистый разрез (без припусков) и без подгонки и сварки отдельных листов. Указанная особенность стеклопластика дает ему существенное преимущество по сравнению с металлом, заключается в том, что путем подбора соответствующих армирующих материалов и структур армирования, выбора способа изготовления конструкции и соответствующей оснастки можно получать наиболее рациональные обшивку и набор (по прочности, жесткости, весовым характеристикам и конфигурации). При этом ликвидируются резка, гибка, сварка и правка материала.

Технологичность конструкций обеспечивается за счет того, что поставляемые промышленностью стеклопластиковые материалы позволяют применять различные армирование для малых и относительно больших судов, для различных по назначению обшивок, настилов и половниц, профилей балок набора и их элементов.

Для малых судов применяют, например, стеклохолсты и стекложгутывые ткани, для более крупных судов — стеклоткани сатинового переплетения, для набора — стеклоткани, стеклохолсты и стекложгуты, для усиления шпангоута — кордовые стеклоткани и т. п.

Применяя различные структуры армирования (параллельную, диагональную, параллельно-диагональную и др.), можно получить рациональные и технологичные конструкции золотых и балок набора.

Однако использование этих возможностей сопряжено с повышением трудоемкости изготовления стеклопластика с дополнительными затратами на изготовление технологической оснастки, в особенности, при контактно-методом формирования, когда все операции выполняются вручную.

Многообразие армирующих материалов и структур армирования затрудняет операции раскройки, пропитки и укладки стеклоткани, а большое число переходов толщи и других размеров в обшивке и наборе, утопленных в районе вырезов и оформившихся заднюю с обшивкой конических и фланцев значительно усложняет оснастку — матрицы, пуансоны, пресс-формы и др. С этой точки зрения технологичность стеклопластика как материала относительна.

Известно, что, наряду с преимуществами, стеклопластик как конструкционный материал обладает недостатками — низким модулем нормальной упругости и сдвига, склонностью к расслоению и ползучести, плохой работой соединений на отрыв, повышенной чувствительностью к концентрации напряжений в работе вырезов и т. п.

Учет этих факторов приводит к возрастанию размеров профилей набора, обеспечению плавных переходов от одного сечения к другому, увеличению толщины обшивок, соединительных наладок и др.

В свою очередь, обеспечение плавных переходов связей (особенно поясков и стенок набора) требует сложных форм, которые изготавливать для каждой балки набора или для групп балок, если она имеет одинаковую конфигурацию и обводы. При изготовлении секций корпусов больших судов с развитой продольно-поперечной системой набора затраты на оснастку для изготовления набора весьма значительны и превосходят соответствующие затраты на оснастку для изготовления набора металлического корпуса. Появилось ручное формирование набора сложной конфигурации, увеличивающее трудоемкость технологических операций.

Технологичность стеклопластика в определенных пределах ограничена конструктивными особенностями корпусов судов и корпусных конструкций из стеклопластика, формируемых ручным контактным методом.

Можно сделать выводы: технологичность конструкций корпуса судна из стеклопластика имеет свои особенности, ее следует рассматривать с точки зрения получения наиболее рациональных конструкций по прочностным и весовым характеристикам, до возможности изготовления этих конструкций с наименьшими трудоемкостью и затратами на оснастку, оборудование и т. п.

Применяемые ручные методы изготовления конструкций из стеклопластика позволяют использовать разнообразие армирующие материалы и структуры и получать рациональные по прочности и весу обшивки и набор, отвечающие современным требованиям. При этом требуются большие затраты физического труда рабочих, выполняющих формовочные работы в трудных санитарно-гигиенических условиях при выделении вредных летучих веществ.

Для улучшения производственных условий в формовочных цехах и на специализированных участках применяют усиленную приточно-вытяжную вентиляцию, подвесные леса и площадки, а также другое оборудование, требующее дополнительных затрат.

При ручных способах формирования используют сложную оснастку для изготовления и ремонта которой необходимы затраты труда и материалов. Поэтому контактный способ, являющийся пока основным в пластмассовом судостроении, нуждается в замене более прогрессивными технологическими способами, обеспечивающими дальнейшее повышение технологичности конструкций при использовании стеклопластика как конструкционного материала в серийной постройке пластмассовых судов. Это, в первую очередь, относится к судам относительно большой длины и водоизмещения.

Основное направление, обеспечивающее повышение технологичности корпусных конструкций из стеклопластика — применение новых перспективных методов формирования и прогрессивной машинной технологии, основанной на замене ручного труда механизированным.

Эту задачу решают созданием специальных машин и установок для механизированного изготовления обшивки и набора. Проектировщики и конструкторы переосмысливают традиционные решения отдельных конструктивных узлов корпуса, связанных с ручным формированием, и разрабатывают новые конструкции, обеспечивающие внедрение механизированных способов.

§ 25.

МЕХАНИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

Анализ конструкций корпусов судов из стеклопластика, построенных в СССР и за рубежом, показывает, что подавляющее большинство корпусных конструкций выполняется вручную способом контактного формирования. Он наиболее распространен благодаря своей простоте и универсальности, не требует больших затрат на оборудование и оснастку, выполняется рабочими низкой квалификации при любом типе армирующего материала.

Дальнейшее развитие пластмассового судостроения, строительство больших судов, собираемых из отдельных секций, переход к серийной постройке требует замены ручных методов формирования более прогрессивными механизированными способами изготовления конструкций.

Механизированное изготовление обшивки и набора корпуса из стеклопластика позволяет:

- в значительной степени уменьшить затраты ручного труда при выполнении трудоемких и тяжелых работ;
- снизить трудоемкость изготовления и стоимость конструкций;
- повысить производительность труда;
- сократить время изготовления конструкций и цикла постройки судна;
- рационально использовать производственные площади;
- сократить число производственных рабочих;
- улучшить санитарно-гигиенические условия труда;
- обеспечить стабильность физико-механических свойств материала.

Для изготовления малых судов (шаланды и катеры) и изделий применяются напыление, вакуумное прессование, способы эластичной мембраны и резинового мешка, штамповки и др.

Для изготовления относительно больших корпусных конструкций указанные способы в большинстве своем непригодны. Кроме того, в каждом из этих способов значительную часть занимает ручные работы (прикатка, укладка армирующего материала и протиска его связующим).

Разрабатывают и внедряются новые методы механизации изготовления обшивки и набора крупногабаритных конструкций и выполнения

отдельных операций по формованию соединений, полностью исключая ручной труд и обеспечивающих высокое качество стеклопластика*.

Механизация изготовления листовых конструкций

Для изготовления листовых конструкций, особенно при серийной постройке судов из стеклопластика, перспективным является механизированный способ формования, обеспечивающий непрерывный процесс укладки стеклоткани, нанесения связующего и уплотнения полученной композиции. Этот способ применяется для изготовления плоских и криволинейных полотноц.



Рис. 122. Механизированное формование внешнего отсека фюзы Bristol Aeroplane Plastics Ltd и Thornycroft Ltd.

Имеются аналогичные установки отечественные и иностранные для изготовления полотноц с различными структурами армирования стеклопластика.

При механизированном формовании листовых конструкций полотна стеклоткани рулонной ширины укладывают на поверхность постели, пропитывают составом связующим из расходуемого бачка и уплотняют специальным эластичным шпательем. Полотноца можно формировать в чистый размер или с припусками, которые удаляют после полимеризации стеклопластика.

* В. В. Зятевой. Средства механизации изготовления веревочных конструкций судна из стеклопластика. Д., «Дизайн», 1970.

Ниже из книги В. В. Зятевой приводятся некоторые сведения.

При отсутствии установок для механизированного формования обшивки вместо ручного контактного послойного прижимают пакетный способ изготовления полотноц секций (его иногда называют способом налива) [101]*.

Схема формования плоской листовой обшивки по этому способу приведена на рис. 123. На горизонтальную поверхность постели по контуру изготавливаемого полотноца устанавливаются ограничительные рейки, высота которых равна толщине листа. Постель покрывают разделительным слоем, на который укладывают нужное количество сухих слоев стеклоткани (требуемого армирования). Затем поверх пакета натягивают дополнительный слой стеклоткани и пакет закрепляют фиксирующими рейками. В централь-

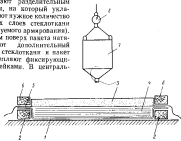


Рис. 123. Схема пакетного формования полотноца.

1 — постель; 2 — ограничитель; 3 — связующее; 4 — лист стеклоткани; 5 — дополнительный слой; 6 — фиксиатор; 7 — лезвие шпателя; 8 — диаметр.

ную часть пакета из бака наливают связующее, количество которого заранее рассчитывают и контролируют по динамометру.

Впитывание связующего в стеклоткань происходит под действием градиентных и адгезионных сил. После впитывания и полимеризации связующего дополнительный слой стеклоткани вместе с нелигированным связующим удаляют.

Пакетный способ применяют для изготовления плоских полотноц переборок, настилов платформ, пола и других листовых конструкций. По сравнению с контактным, он снижает трудоемкость и улучшает условия труда рабочих за счет уменьшения непосредственного соприкосновения со связующим.

Для изготовления обшивки секций с небольшой погрешностью разработан способ механизированного формования плоской развертки

* Авторское свидетельство № 200223. «Открытие, изобретение, промышленное образцы, товарные знаки», № 4, 1958.

полотнища с последующей гибкой деформационным способом, основанном на свойстве отвержденного стеклопластика принимать заданную форму под действием собственного веса *.

Деформационный способ позволяет применить все прогрессивные способы формирования плоских полотнищ и по сравнению с контактным значительно упрощает конструкцию постели и ее стоимость. Сущность этого способа заключается в том, что изготовленную плоскую развертку после окончания начальной стадии полимеризации (через 3 суток) с помощью подъемно-транспортных средств укладывают на постель упрощенной конструкции, состоящей из лекал, установленных на расстоянии 500—600 мм.

Плоская пластина под действием собственного веса прогибается, прилегает к лекалам постели и приобретает заданную сложную форму обшивки секция. На обшивку устанавливаются и приформовывают балки продольного и поперечного набора.

Необходимыми условиями осуществления деформационного способа являются:

способность плоской пластины изготонить принять заданную форму в соответствии с обводами лекала постели, т. е. ее достаточная гибкость;

малая величина изгибных напряжений в пластине после принятия криволинейных обводов и малая величина отрывающих усилий, возникающих в приформовочных углах набора.

Эти вопросы исследовались для палубных и бортовых секций судов с корпусом из стеклопластика длиной до 30 м. Способность к деформации плоских пластин-заготовок оказалась вполне достаточной — они принимали заданную форму с погрешностью двойной кривизны.

Исследования показали, что напряжения в обшивке и отрывающие усилия в приформовке набора составляют незначительную величину, находящуюся в пределах точности расчетов конструкций (3—5%), которая не влияет на прочность готовых секций и корпусов в целом. Для снятия напряжений изготовленные секции подвергают термообработке, которую обычно совмещают с термостатированием, проводимым с целью снижения выделения токсичных летучих веществ из готовых стеклопластиковых конструкций.

Деформационный способ находит применение для изготовления криволинейных крупнооборватных палуб, имеющих незначительную поперечную и продольную погрешность.

Осваиваются и другие способы механизированного формирования плоских и криволинейных (с малой погрешно и седловатостью) полотнищ с различными структурами армирования стеклопластика.

Создание механизированных установок для изготовления обшивки объемных секций с произвольной конструктивной гибкостью связано с определенными трудностями: громоздкостью, сложностью и большой стоимостью изготовления и эксплуатации механизирован-

ной установки; стеканием смолы по поверхности объемных конструкций, приводящем к обесмысленно обдам и застреванию смолы других участков; возникновением пузырей и иных дефектов в стеклопластике.

Для преодоления этих трудностей необходимо поиска новых конструктивных и технологических решений. Потребности дальнейшего развития пластмассового судостроения, несомненно, приведут к созданию подобных установок.

Для рассмотренных способов механизированного формирования в ряде случаев необходимо пересмотреть конструкции постелей для обеспечения их технологичности при изготовлении механизированными способами.

Механизация изготовления балок набора

Во многих странах проводят исследования технологических процессов и разрабатывают установки для механизированного изготовления балок набора корпуса судна из стеклопластика. Перспективным является широкопроизводительный способ непрерывной протяжки профильных профилей из стеклопластика (профиша), протитанных связующим.



Рис. 124. Схема установки для изготовления профилей изделий из стеклопластика фирмы Zimling (ФРГ).

1 — шаровое устройство; 2, 3 — направляющие устройства; 4, 5 — камеры полимеризации; 6 — камера охлаждения; 7 — выходящий профиль; 8 — направляющие для ролика; 9 — стол для укладки профилей.

Первые опытные установки для непрерывного изготовления труб и других профильных изделий из стеклопластика были разработаны Берлинским институтом пластмасс Академии наук ГДР в 1958 и 1962 гг.

Известны промышленные установки для механизированного изготовления балок, разработанные различными зарубежными фирмами (рис. 124, схема установки фирмы Zimling (ФРГ); рис. 125, схема установки фирмы Seibitz (ГДР)).

Принцип работы установок для изготовления профилей из стеклопластика методом непрерывной протяжки заключается в следующем. Со шпульного устройства, состоящего из нескольких рядов шпунтов (катушек) с наматыванием на них стеклолент, армирующей материал поступает в продольную камеру со связующим, откуда параллельные ряды стеклолент протитывают через фильтры, придают им профильную форму.

* Авторское свидетельство № 225274. Открытие, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, № 27, 1968.

В термокамере происходит полимеризация смолы. Готовый непрерывный прямолинейный профиль подается на стел, где производят его разрезку на полосы. Сечение профиля задается формой фильеров и обычно представляет собой круглую стержень, трубу, полосу, уголок или тавр.

Производительность установок (в зависимости от сечения профиля и типа установки) составляет 10—80 м²/ч; армирование профиля параллельное. Балки можно использовать в конструкциях после выдержки в обычном для стеклопластика технологическом микроклимате в течение 10—15 дней.

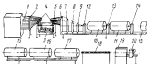


Рис. 125. Схема установки для изготовления профиля из стеклопластика формой Scheitz (ГДР).

1 — стержень; 2 — фильера; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 — фильеры; 10 — камера полимеризации; 11 — охлаждающая камера; 12 — фильеры; 13, 14, 15 — камеры полимеризации; 16 — охлаждающее устройство; 17 — камера устройства; 18 — приспособление для резки.

На аналогичном принципе работает одна из установок, изготавливающая прямолинейные тавровые балки параллельного армирования стекложгутом с площадью поперечного сечения до 7 м². Производительность установки — до 30 м²/ч.

На горизонтальных установках можно изготавливать профили любого сечения.

Разработана вертикальная установка для изготовления профилей размером до 200 мм (рис. 126).

Исследования прочностных свойств балок, изготовленных механическим способом, показали, что при работе на изгиб эти балки равнопрочны балкам, изготовленным из стальной сетчаткой ручным методом (в пресс-формах) и превосходят последние при работе на растяжение и сжатие. Недостаток этих балок — параллельное армирование не обеспечивает необходимой прочности и жесткости материала на сдвиг ввиду отсутствия поперечной армирующей связи между волокнами, которые связаны между собой только клеевым слоем, через смоляную прослойку. Из-за этого на установках для изготовления профилей параллельного армирования целесообразно производить немские (до 60 мм) прямолинейные судовые балки — продольные ребра жесткости палуб, платформ и бортов (в средней части корпуса); стоек шверборков и выгородок; угольников обрешетки, стальных и т. п.

Для профилей балок с высотой стенки от 100 мм и выше требуется диагональное армирование, обеспечивающее вытеснение сдвигающих усилий. Однако выполнение диагонального армирования стенок стекложгутами значительно усложняет технологический процесс и конструкцию машины.

Известна установка для изготовления профиля со смешанной структурой армирования. Это сложный агрегат, предназначенный для непрерывного формирования относительно высоких прямолинейных балок таврового профиля с параллельно-диагональной структурой армирования. Принцип работы установки основан на сочетании метода протяжки и комочки.

В начале на специальной оправке дорна * формируется непрерывная труба с параллельно-диагональной укладкой пропитанных связующим стекложгутов, соединенных со шпульного устройства. Затем трубу стягивают с дорна и постепенно через промежуточные ступени деформируют в тавровый профиль, который отверждается при проходе через камеры полимеризации. При таком методе формирования параллельные и диагональные слои, образующие стенку профиля, охватывают снаружи середину носка, которая сама армируется по продольно-параллельной структуре.

Прочностные характеристики стеклопластика тавровых балок, полученных на этой установке, превосходят характеристики стеклопластика на основе стальной сетчаткой по изгибу, растяжению, сжатию и сдвигу.

На установке можно изготавливать профили площадью поперечного сечения до 25 м² и высотой стенки от 100 до 160 мм.

В СССР и за рубежом разрабатываются способы механизированного формирования криволинейных балок. В частности, получены положительные результаты при изготовлении балок с криволинейным одним згибом и постоянной высотой профиля. Перспективно использование для криволинейных балок рубленого стекловолокна, изготавливаемого механическим способом на стенку формы, поднимаемой под пневматическую головку подвижным столом. Армирование носка в этом случае можно производить картами стекловолокна, накатываемыми вращающимися роликами, смонтированными на этой же установке.

* Авторские свидетельства № 211064, «Стружка, вобретения, промышленные образцы, товарные знаки, № 7, 1968.

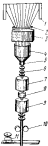


Рис. 126. Вертикальная установка для изготовления профилей.

1 — стержень; 2 — фильера; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 — фильеры; 10 — камера полимеризации; 11 — охлаждающая камера; 12 — фильеры; 13, 14, 15 — камеры полимеризации; 16 — охлаждающее устройство; 17 — камера устройства; 18 — приспособление для резки.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ПОЛОТНИЩ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ ФОРМОВАНИИ

При изготовлении полотнищ и обшивок из стеклопластика технологически легко выполнимой является обшивка, имеющая по всей площади одинаковую толщину, особенно, если структура армирования слоев стеклоткани параллельна.

Однослойные обшивки и полотнища характерны для малых судов, монолитные корпуса которых состоят из одной или нескольких конструкций (обшивки, набор, воздушные ящики, палуба и др.).

Развитие пластмассового судостроения привело к построению относительно больших судов, состоящих из сложных секций, представляющих собой корпусные перекрытия с обшивкой, поперечным и продольным набором и приформовочными соединениями.

Требование обеспечения общей и местной прочности на действие значительных эксплуатационных нагрузок, наличие в полотнищах больших вырезов с необходимыми подкреплениями, применение сложных структур армирования, разделение больших перекрытий на секции привело к значительному усложнению обшивок, настилов и полотнищ.

При контактом методе формования изготовление этих полотнищ, несмотря на увеличение затрат труда и усложнение технологической оснастки, вполне возможно. Однако технологические процессы механизированного изготовления полотнищ имеют специфику, которую необходимо учитывать при разработке конструкций.

Полотнища корпусных конструкций, спроектированные для изготовления контактным способом, имеют особенности, препятствующие внедрению механизированного формования. К этим конструкциям относят (рис. 127):

- комингсы, подкрепляющие кромки вырезов (формируемые заводно с полотнищами палуб, переборок и выгородок);
- фланцы, отбортовки и высадки по кромкам секции и вырезов в районе установки съемных листов;
- местные утолщения и переделы толщин по длине и ширине полотнищ;

обшивки и настилы секций двойной кривизны (поперечная погонья и продольная седловатость);

конструкции с послойным чередованием слоев стеклоткани с укладкой под различными углами;

гофры и релюшес переборок и выгородок и т. п.

На имеющихся установках для машинного изготовления полотнищ нельзя формировать обшивки любых конфигураций, структур и габаритов. Поэтому при разработке обшивок секций следует избегать нетехнологических (с точки зрения механизированного формования) конструктивных решений. Поэтому следует рекомендовать:

изготавливать комингсы и подкрепления вырезов, фланцы, отбортовки и высадки раздельно с полотнищами с последующей их приформовкой к полотнищам;

предусматривать по возможности однослойные полотнища; количество местных утолщений доводить до минимума, дополнительные слои укладывать после формирования основных слоев только с одной (наружной) стороны полотнища;

выполнять палубу в продольном сечении без седловатости, изменяя ее наклонной прямой или ломаной линией со стыковочным

сечением по линии сломов;

при параллельно-диагональной структуре армирования стеклопластика распределять параллельные и диагональные слои пакетами (диагональный — в средней части, параллельные слои — по краям), не применять заглубляющее машинное укладку равномерное чередование параллельных и диагональных слоев;

унифицировать толщину выштампов, структура армирования, определяя толщину, распределение слоев;

разбивку корпуса на секции производить с максимальным выделением полотнищ плоских или с небольшой погонью;

соблюдать яркость ширины полотнища со стеклотканью стандартной ширины (800—1000 мм);

полотнища переборок и выгородок выполнять без закрытых гофр и релюшес;

при изготовлении конструкций легких выгородок с гофрами применять стандартные и прессованные панели с открытыми гофрами, изготовленные машинным способом;

плотнее приформовывать профилированные гофры.

Некоторые из перечисленных рекомендаций приведены на рис. 128.

Следует отметить, что указанные требования и рекомендации, повышающие технологичность конструкций полотнищ при их механизированном формовании, подробно исследованы и относятся к полотнищам плоским и с малой погонью, для которых разработаны новые способы изготовления и внедрены установки машинной технологии (работы И. П. Сафорова, С. Е. Фролова, Г. А. Зайцевой).

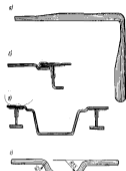


Рис. 127. Узлы конструкций, препятствующие внедрению механизированного формования: а — комингс; б — отбортовка; в — высадка; г — выштамп.

Опыт показывает, что механизированные способы формирования по сравнению с ручным контактным способом обеспечивают повышение производительности труда в 3—4 раза, ускоряют процесс изготовления полотноц за счет интенсификации процесса формирования, улучшают санитарно-гигиенические условия труда.

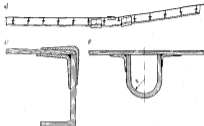


Рис. 128. Конструктивные детали обеспечивающие герметичность механизированного формирования полотноц: а — соединение оклейки палубы до днажной палубы; б — канал, профилированный в продольном направлении; в — герметизирующий материал.

Выполнение требований по повышению степени технологичности полотноц несколько увеличивает (на 2—3%) вес конструкции (за счет односторонности и дозольчатых профилевок комингов,



Рис. 129. Размеры слоя внутри коминга.

а — ширина полотноца; б — ширина стенок; в — ширина канала; h₁ — высота палубы.

подкреплений и др.) и увеличивает отходы материала до 3—5% за счет образования по кромкам при механизированной укладке палтен стеклоткани стандартной ширины так называемых ступенек, удаляемых при конструировке секции в чистый размер (рис. 129). К этому следует добавить стекловолокну

ликов и горловины, вырезаемых после формирования полотноц. Их иногда используют для изготовления киль, бракет, носов и других деталей корпуса.

Увеличение веса за счет односторонности полотноц незначительно и обычно компенсируется общим снижением веса полотноца, сформированного на машине (каждое уменьшение расхода связующего,

уменьшения плотности укладки и повышения механических характеристик стеклотканей).

Опыт механизированного изготовления полотноц показал, что вполне допустимо смешивание стыков и пазов в смежных слоях полотноц стеклоткани на 50 мм (вместо прерывистых при ручном формировании 100 мм) и выполнение диагональных слоев без разрыва стыков и пазов. Механические характеристики стеклотканей при этом не снижаются, а количество отходов стеклоткани и связующего уменьшается.

Для повышения степени технологичности конструкций и уменьшения отходов целесообразно формировать полотноца в чистый размер с укладкой «ступенек» ручным способом, что составит 2—3% от общей трудоемкости механизированного формирования. Следует отметить, что в некоторых других случаях (подкрепление вырезов, удлинение, изменение структуры армирования и пр.) технологичность конструкции требует двоякого сочетания механизированного метода формирования с ручным.

§ 31.

ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ БАЛОК НАБОРА ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОМ ФОРМОВАНИИ

Корпус большого пластмассового судна поперечными переборками, палубами, внутренними платформами и выгородками обычно разделен на ряд отсеков и помещений, имеет надстройку и рубки. Балки набора корпуса можно разделить на группы: основные продольные связи (киль, стрингеры, карлингеты, установочные кеплеры по всей длине корпуса);

поперечные связи (длинные флоры и бимсы), установленные непрерывно от одного борта до другого;

шпангоуты (непрерывные связи от дна до верхней палубы, пересекающие внутреннее палубы и платформы) с переменным поперечным сечением;

шпангоуты с постоянным поперечным сечением по всей длине; шпангоуты, выполненные задно с длинными активными и установочными кеплерами от борта до борта;

стойки переборок, надстроек и рубок;

продольные ребра жесткости палуб и платформ;

продольные ребра жесткости бортов и дна.

Большинство балок набора криволинейные. Перемычку криволинейности имеют донные флоры, нижние ветви шпангоутов и донные стрингеры в оконечностях; цилиндрическая кривизна у бимсов палуб и крыш надстроек, а также у шпангоутов в средней части корпуса. Продольные ребра жесткости дна и бортов в средней (цилиндрической) части корпуса имеют незначительную кривизну. Продольные ребра палуб, не имеющие седловатости, стойки переборок и надстроек, верхние ветви шпангоутов в средней части судна — прямые.

Для изготовления большого количества разнообразных по конфигурации и типоразмерам балок судовой набора при автоматизированном

методе формовки нужны сложная и дорогостоящая оснастка в большие затраты труда.

Создание установок для изготовления профилированных балок механизированным способом позволяет для некоторых деталей набора отказаться от пресс-форм, матриц и другой сложной оснастки, а также от трудоемких технологических операций раскроя, пропитки, укладки и прессования. Кроме того, появилась возможность замены дорожек стекловолоконной стеклолентой, рубленым стекловолокном и другими негнаными стеклопластиковыми.

Для этого необходимо разработать такие конструктивные узлы соединений на-

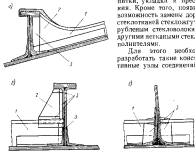


Рис. 130. Оформление остывающих ребер жесткости и прохода его через заборную переборку: а — ручное изготовление; б — механизированное изготовление; в — проход ребра.

1 — продольные ребра жесткости; 2 — вкладыш; 3 — прорезиненная форма.

бора, которые не препятствуют применению механизации и машинной технологии. Указанными вопросами занимались И. П. Огородов, С. Е. Фролов и др.

В первую очередь переводится на механизированное изготовление кельсоны профиля прямоугольных продольных ребер жесткости палуб и платформ, не имеющих погони. При этом вместо алаканного перехода ребра в фигурную кильку (при контактом способе) устанавливается приставная килька из листового стеклопластика с приформованной ее к ребру и смежным конструкциям (рис. 130).

При установке продольных ребер жесткости в районе непроницаемых конструкций не сводят на ус свободный полсок, а лишь выводят боковые отверстия по линии пересечения с переборкой и заполняют их герметизирующей пастой.

В качестве ребер жесткости для палуб с небольшой седловатостью также можно применять несотовленные механизированным способом применяемые профили. При этом учитывают, что балки высотой 50—60 мм и длиной 5—6 м изгибаются под собственной тяжестью в плоскости стенки на 25—30 мм. Поэтому при стреле изгиба до 1/8—1/10 длины пролета такие балки следует лишь небольшим

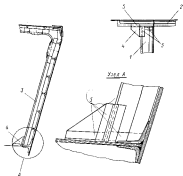


Рис. 131. Качество соединения (механизированное изготовление): килькатура палубы и стоек переборки с ребром жесткости.

1 — стойка; 2 — ребро жесткости; 3 — клин; 4 — накладная.

усилием прижать к обшивке. После приформовки ребра и снятия (термообработкой) остаточных напряжений такой процесс практически не скажется на работоспособности конструкции.

Прямоугольные ребра жесткости и стойки, изготавливаемые на установке для механизированного формования, нуждаются в изменении узлов закрепления их концов.

Для стоек, присоединяемых к продольным ребрам жесткости, поперечному набору или к обшивке вместо фигурных кильк устанавливаются и приформовываются приставные кильки, а стенки стоек соединяют с набором или обшивкой приформованными угольниками или накладками (рис. 131). Для стоек переборок, окружающих на стригера или киллинг, концевые фигурные переходные кильки отдают

к продольному набору, выполняемому в формах обычным контактным методом.

Прямолинейные ветви шпангоутов, изготавливаемых механизированным способом, соединяют клядами, выделенными в качестве самостоятельных деталей (рис. 131). Нижнюю клядку выполняют из листового стеклопластика, а верхнюю фигурную с пояском, соединяющую шпангоут с бимсом и загибающую зубойкой, изготавливают вручную в форме.

Возможно применение машинной технологии для изготовления криволинейных балок — бимсов палуб, платформ и крива над-

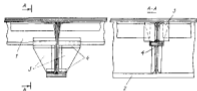


Рис. 132. Оформление прохода бимса через карлингс (механизированное изготовление).

1 — бимс; 2 — карлингс; 3 — корпус; 4 — приформовка; 5 — зубойка.

строек, имеющих цилиндрическую погоню. Если высота бимсов незначительна (50—80 мм), то их можно изготавливать прямолинейными с постоянным по длине сечением. Хорошая упругая деформационная способность невысоких бимсов позволяет устанавливать их на уложенное в криволинейную матрицу полотно (настил палубы) с прижатием и последующей приформовкой. При поперечной системе набора приформовку бимсов к настилу выполняют непрерывной, что обеспечивает надежное присоединение даже при некотором предварительном подгонке.

В узлах пересечения бимсов с карлингсами непрерывный пояс бимса проходит через прямоугольный вырез в стенке карлингса (рис. 132). Этот вырез затем заделывают стеклопластиком и приформовкой. Бимс с карлингсом соединяют приставными клядами и приформовочными накладками и угольниками.

При небольшой погоню, составляющей 1/5—1/4 высоты профиля, можно применять прямолинейные балки, изготовленные механизированным способом. Рекомендуется выполнять криволинейную подрезку кромки стенки балки по форме полотноца, пояс оставляя прямолинейным (рис. 133). Выполнение такой подрезки требует дополнительных затрат. Поэтому ее следует рекомендовать для относительно высоких балок: карлингсов палуб и платформ, имеющих

небольшую седловатость; рамных усиленных бимсов; поперечных и продольных балок подкреплений. Следует учесть, что, применяя указанные балки с прямолинейными поясками, иррационально завышают высоту профиля и уменьшают полезную высоту помещений.



Рис. 133. Бимс с криволинейной полкой (механизированное изготовление).

1 — стенка бимса; 2 — пояс бимса; 3 — карлингс; 4 — часть палубы; 5 — приформовка; 6 — соединительная клядка.

После освоения промышленных установок, изготавливающих криволинейные балки с достаточной и зеренной цилиндрической кривизной, возникает возможность выполнять механизированным способом все бимсы и часть шпангоутов. В этом случае шпангоутная рама (рис. 134) будет состоять из криволинейных балок, соединяемых между собой и с продольными балками (карлингсами, стрингерами) приставными клядами, стыковыми и угловыми формовочными соединителями. Верхняя и нижняя ветви шпангоута, непрерывно перекрывающего палубу, имеют одинаковые поперечные сечения.

Расширенные варианты механизированного изготовления балок набора показывают, что для большинства конструктивных узлов корпуса имеются решения, обеспечивающие технологичность конструкций, снижение трудоемкости выполняемых работ и замену ручного труда машинным. Однако эту задачу нельзя до конца решить без механизации наиболее трудоемкой и ответственной операции — приформовки балок набора к полотноцу. Приформовка набора составляет 25—30% от общей трудоемкости формирования корпуса. Протяженность приформовочных



Рис. 134. Соединение балки набора корпуса (механизированное изготовление).

1 — шпангоут; 2 — бимс; 3 — клядка; 4 — стыковая накладная; 5 — стенка днища в форме; 6 — зубойка угловая.

угольников. На относительно больших судах достигают нескольких тысяч метров.

Объем приформовочных работ при переходе на узлы с механизированным набором еще более возрастает в связи со значительным увеличением количества конструкций и приставками к ним. Одновременно увеличиваются требования по обеспечению надежности работы приформовочных угольников, в особенности при деформациях отрыва, которые для конечных соединений наиболее характерны.

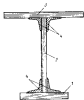


Рис. 135. Составная балка из листов, изготовленных механизированным способом.

1 — обшивочный элемент; 2 — ступица; 3 — обшивка; 4 — приформовочный угольник (формовочный узел).

ются. Улучшаются санитарно-гигиенические условия работы, так как уменьшается контакт рабочих со связующим.

Создание промышленных образцов приформовочных установок и их широкое внедрение в пластмассовом судостроении даст возможность использовать механизированные методы для выполнения угловых и стыковых формованных соединений. Поэтому перспективным является способ изготовления составных балок сложной конфигурации. Он аналогичен способу, применяемому в металлическом судостроении, когда стенке и пояски балки вырезают из листов газорезательными аппаратами и затем сваривают между собой.

Для изготовления таким способом из стеклопластика стрингеров, килей, карлингсов, высоких флоров и других сложных балок с частыми изменениями высоты стенки и ширины пояска, стенку балки вырезают из предварительно сформованного листового стеклопластика и соединяют с пояском, изготовленным заранее. При наличии механизмов для формования плоских листов стеклопластика и для изготовления криволинейных поясков из стекложгутовой ма-

теродом протекания и арматурной установки все основные технологические операции изготовления составных балок сложной формы механизмируются (рис. 135).

§ 32. РАЗБИВКА КОРПУСА СУДА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТАКА НА СЕКЦИИ

Технологичность конструкций корпуса из стеклопластика тесно связана с необходимостью и возможностью разбивки корпуса на отдельные секции. Для малых пластмассовых судов такая необходимость существует в ограниченных пределах. Так, например, корпус шлюпок и малых катеров, не имеющих палубы, представляет собой одну монолитную секцию. Балка набора, стенки воздушных хиджков, баши и даже внутренняя обшивка при трехслойной конструкции — отдельные детали корпуса.

Для более крупных судов отдельно от монолитной секции днища и бортов необходимо изготавливать переборки и швертоды, рубки и другие конструкции, формируемые на специальном участке. Готовые секции с этого участка поддают к месту соединения их с основной монолитной секцией корпуса, включающей в себя наружную обшивку днища и бортов (от форштевня до кормы) и приформованных к ней балок поперечного и продольного набора (рис. 136).

Монолитная обшивка сваривает не только соединения с выступающими приформованными поясковыми и стыковыми накладками. Благодаря этому у нее гладкая поверхность, плавные обводы; удается создать декоративный наружный слой. Отсутствие соединений повышает прочность и надежность конструкции в эксплуатации, снижает ее вес, уменьшает трудоемкость изготовления обшивки из-за исключения работ по стыкованию и формованию стыковых накладок.

Однако для формования монолитной обшивки необходимы дорогостоящая сложная технологическая оснастка. Это, как правило, полнообъемная матрица, имеющая криволинейные обводы, соответствующие обводам корпуса (рис. 137).

С увеличением длины судна, его ширины и высоты борта возрастает габарит матрицы. Для размещения и обслуживания матрицы нужна большая производственная площадь, мощное крановое оборудование, усиленная вентиляция. Усложняется технология формования монолитной обшивки, увеличивается количество занятых



Рис. 136. Монолитный корпус судна длиной 17,1 м. Вид корпуса на большую часть из района носового отсека и толстых обшивочных флоров. Италия; Анжани.

* Девятый секретариат № 278326. — Открытие, авторство, проведение образцов, товарные знаки, № 28, 1970.

тых одновременно рабочих, необходимо устраивать подвесные вытравочные леса для формовщиков и т. п.

Поэтому, начиная с определенных размеров судна, целесообразно переходить от монолитного формирования наружной обшивки корпуса к секционному методу ее изготовления. Опыт постройки отечественных пластмассовых судов показывает, что при длине, превышающей 15—20 м, и высоте борта более 1,0—1,2 м секционный метод изготовления корпуса предпочтительнее монолитного.

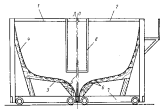


Рис. 137. Натрава для формирования монолитного корпуса.

1 — левая часть; 2 — правая часть; 3 — развал; 4 — обшивочная панель; 5 — выдерживающий набор; 7 — выемка; 8 — опорный брус.

Решая вопрос об изготовлении корпуса монолитным или секционным можно на основании технико-экономических показателей постройки судна и оценки его эксплуатационных качеств [33].

Оптимальный вариант разбивки корпуса на секции выбирают в процессе проектирования, исходя из особенностей его конструкции, принятой технологии постройки, количества строящихся серийных судов, возможностей производства и обеспечения необходимой оснастки и оборудования, а также из требований соблюдения техники безопасности, условий труда и промышленной санитарии.

При разбивке корпуса на секции рекомендуется:

стремиться к наименьшему количеству секций, максимальных по габаритам и весу;

выбирать размеры секций, исходя из возможности их изготовления на существующей оснастке с учетом транспортировки с одного участка на другой и подбора на стальнойом месте для сборки корпуса существующими на предприятии подъемными средствами;

изготавливать секции в наиболее законченном виде с установкой и приформовкой всего набора и деталей смежных конструкций (кожухов, шельфы и др.), а также деталей крепления оснастки, оборудования и т. п.;

включать в состав секций, изготавливаемых на предварительной сборке, наиболее сложные и трудоемкие конструкции и узлы, установка и крепление которых в готовом корпусе затруднены (неполное положение, узкие и неудобные места);

относить к одной из секций часть корпуса с наиболее сложными криволинейными обводами и за счет этого максимально упрощать конфигурацию остальных секций (например такой разбивкой может служить сложная днищевая секция и более простые секции бортов); сокращать объем пригоночных и приформовочных работ при стыковке секций за счет формирования обшивки и набора в частый размер без монтажных припусков и выполнения кромок стыков и пазов секции промышленными или близкими к ним;

применять для изготовления обшивки и балок набора механизированные методы, прогрессивные технологии и организацию производства.

Разбивка корпуса на секции и перенесение на специализированные участки их предварительного изготовления и сборки позволяет расширить фронт работ и изготавливать конструкции параллельно в сокращенные сроки; улучшить условия труда рабочих, которые могут выполнять все операции в нижнем положении в благоприятной санитарно-гигиенической обстановке; повысить производительность труда и снизить затраты на изготовление корпуса при одновременном улучшении качества конструкции за счет исключения неполочного и вертикального формирования, выполнения работ на специализированных участках с применением наиболее прогрессивной технологии и оснастки, обеспечивающих механизацию труда, снижение отходов материала и т. п.

Указанные факторы должны быть учтены при выборе схемы разбивки корпуса на секции, которую производят на основе анализа технико-экономических показателей, определяя комплекс затрат на изготовление секций и сборку корпуса. Этот вопрос подробно проанализировал В. В. Кумолов, разработавший методику определения наиболее рациональной схемы разбивки корпуса на секции с точки зрения оценки ее экономической эффективности.

В методике указано, что при переходе от монолитного способа к секционному с одной стороны происходит увеличение затрат на материалы для дооплечиваемых соединений обшивки и набора и на изготовление указанных соединений, с другой стороны необходимо учитывать уменьшение затрат на формование бортовой обшивки секций в нижнем положении (вместо вертикального), а также на приформовку вертикального набора к обшивке.

При формировании монолитной секции корпуса судна требуется укладывать и пропитывать связующим слои стеклопласта по дну и по бортам, что является трудоемкой операцией и ведет к дополнительному расходу смолы, стекающей по вертикальным поверхностям вниз. Трудоемкость и расход смолы при формировании обшивки в участках ахтерка и фаринга увеличиваются.

Разделением монолитной секции на днищевую и две бортовые или на две симметричные секции с разъемом по ДП можно уменьшить

сти затраты. При этом следует учитывать также изменение стоимости оснастки. Опыт показывает, что стоимость нескольких матриц для изготовления секций меньше, чем стоимость одной большой и сложной матрицы для монолитной секции.

Учет изменения затрат позволяет определить размеры максимально допустимых секций, при которых технически и экономически целесообразно изготавливать корпус секционным способом.

Расчеты, выполненные на практических примерах, показали, что из трех вариантов разбивки монолитного корпуса обшивки на оставшиеся секции (рис. 138) рациональным оказался вариант с разделение обшивки по ДП.

На основе опыта постройки относительно больших судов можно рекомендовать приведенные ниже конструктивные варианты разбивки корпуса на секции.

1. Для судов длиной от 15 до 30 м наружную обшивку можно выполнять из двух симметричных секций правого и левого борта, стыкуемых в ДП. В этом случае затруднение вызывает лишь возможность формирования внутренней соединительной накладки в оконечностях, и определенности в месте перехода килевой части носовой оконечности к форштевню, где обшивка корпуса наиболее узкая. Это следует учитывать при разработке теоретического чертежа, придавая носовой обшивке более пологие формы и задавая кромке форштевня сечение по радиусу 150—200 мм. Если при этом все же нужны более острые образования форштевня, то их можно создать сформованной на корпусе сваркой каделой из стеклопластика с заводнителем.

Возможен вариант, при котором на заостренные образования форштевня формируют усиленную наружную соединительную накладку, а на внутреннюю сторону обшивки, к которой из-за узких образований носа доступ затруднен, наносят методом напыления толстый слой рубленого стекловолокна, пропитанного смолой. Заполнитель позволяет при созданных более полных обводах сверху формировать внутреннюю накладку (рис. 139).

Для обеспечения непрерывности внутренней накладки стыковое соединение шпангоута каждой секции не доводят до нижней кромки в ДП и до верхней кромки по линии стыковки с палубой. Расстояние от кромки до балки выбирают, исходя из возможности размещения стыковых соединений обшивки и набора. Оно составляет величину, не меньшую, чем сумма половины ширины стыковой па-

кладки обшивки и половины длины соединительных накладок шпангоута (рис. 140). После установки внутренней накладки между кромками шпангоута балки устанавливают зубчатый участок, имеющий в районе стыкования одинаковый со шпангоутом профиль.

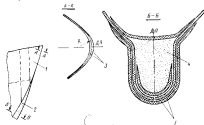


Рис. 139. Способные бортовых секций.

1 — обшивка; 2 — форштевень; 3 — соединительные накладки; 4 — заводнитель.

виду того, что кромка лотковой секции не подкреплена набором, а шпангоуты у кромки на участках длиной 100—150 мм обычно не профилируются к обшивке, при транспортировке секций следует при-

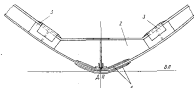


Рис. 140. Стыкование секций по ДП.

1 — стыковые накладки обшивки; 2 — зубчатый участок; 3 — стыковые накладки шпангоута.

нимать меры, предохраняющие кромки обшивки от поперечной (параллельные подкрепления, баляйка досками и пр.).

2. Для судов длиной от 30 м и более целесообразно выполнять наружную обшивку со стыком по ДП из-за больших габаритов секций и возмущенных требований к прочности соединений.

Большие суда, кроме верхней палубы, имеют еще платформу или вторую палубу, что несомненно выигрывает на разбивку корпуса на секции. В этом случае рационально выделить из корпуса основную декинговую секцию, соединяющуюся с бортовыми по пазам, расположенным в районе скулы. Узлы соединения обычных днища и

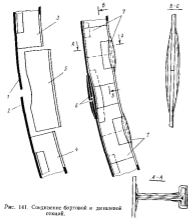


Рис. 141. Соединение бортовой и декинговой секций.

1 — обшивка борта; 2 — обшивка днища; 3 — шпангоут борта; 4 — шпангоут днища; 5 — забойный участок; 6 — соединительные элементы обшивки; 7 — соединительные элементы набора.

борта (рис. 141) и стыковки шпангоутных рам разносят, а между шпангоутами днища и бортов устанавливают забойные участки набора [62].

Соединение бортовых секций в оконечности может быть выполнено либо в ДП по линии форштегеля и транца, либо декинговую секцию в оконечностях доводят до палубы, а бортовые секции соединяют с обшивкой декинговой секции по горизонтальным пазам и вертикальным стыкам, расположенным посередине между шпангоутами.

При длине бортовой секции в 5 и выше раз большей, чем ее ширина, необходимо вводить дополнительный стык, т. е. разделить бортовую секцию на две. Опыт изготовления относительно узких и длинных бортовых секций показал, что при выемке их из матриц и транспортировке к месту сборки корпуса возможна поломка, так как бортовые секции, не имеющие усиленных продольных связей, обладают малой жесткостью.

Однако передать место стыкования бортовых секций в средней части корпуса не всегда просто. Располагать стыковое соединение в районе мидель-шпангоута нежелательно по условиям прочности, а смещение стыка в оконечности ведет к неравномерной разбивке секций борта на большую и малую части. Стык бортовых секций рекомендуется располагать не ближе чем на 15—20% длины судна от мидель-шпангоута.

При поперечной системе набора со шпаншей не менее 400 мм (мелкая шпанша не рекомендуется как нетехнологичная) ширина стальных накладок позволяет размещать их между шпангоутами; в этом случае смежные со стыком шпангоуты не мешают формированию внутренней непрерывной накладки.

При продольной системе набора линию соединения бортовой секции с днищем располагают между продольными ребрами жесткости в районе скулы, а перпендикулярные стыки — между шпангоутами. Однако в этом случае вводить забойные участки приходится не только в шпангоуты, но и в продольные ребра жесткости.

Для обеспечения непрерывности внутренней накладки и возможности стыкования забойных участков ребер жесткости, их стыки приходится разносить в соединении шпанши, вследствие чего длина забойных ребер достигает одного метра при шпанши 500 мм. Но для установки этих ребер нужно две шпангоутные баки, смежные со стыком обшивки, также отнести к числу забойных и ставить их после формирования пазовых и стыковых накладок, соединяющих обшивку днища и борта, и после установки и приформовки забойных участков ребер жесткости.

Для того чтобы не вводить лишнего стыка в забойные шпангоуты борта, их выполняют сплошными от стыка с декинговой ветвью до соединения с бимсом палубы.

3. В некоторых случаях на больших судах целесообразно от декинговой секции отделить оконечности и выполнять их в виде носовой и кормовой объемных секций. Такая разбивка упрощает изготовление матриц декинговой секции и формирование ее паральной обшивки, а также установку и приформовку продольного и поперечного набора. Кормовую секцию обычно формируют в матрице, а носовую — на пуансоне, так как обводы в носовой оконечности очень узкие и не позволяют в матрице получить конструкцию высокого качества. Можно носовую секцию изготовить из двух симметричных бортовых секций, формируемых в матрицах; при этом соединение секций выполняется по узлу, показанному на рис. 142. Носовые хромки секций в этом случае имеют отогнутые внутрь фланцы, которые после соединения их накладками образуют площадку

для установки и приформовки к обшивке носовой секции форштеня.

При изготовлении носовой секции на пуансоне наружная обшивка получается монолитной без соединительных накладок, что является преимуществом перед секционным вариантом. Недостаток обшивки, сформованной на пуансоне, — большая шероховатость наружной поверхности, которую приходится специально обрабатывать для придания гладкости. Внутреннюю поверхность обшивки

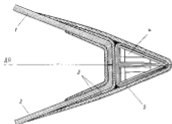


Рис. 142. Стыковка обшивки носовой обшивки секции на двух обшивках.

1 — обшивка донца борта; 2 — обшивка правого борта; 3 — стыковая накладка; 4 — форштевень; 5 — обформовка.

также приходится тщательно зачищать для удаления остатков разделительного слоя, во избежание попадания его под приформовочные угольники набора.

Соединение обшивных секций оконечностей с дашевой и бортовой секциями (рис. 143) производят с помощью стыковых накладок и забойных участков продольного и поперечного набора аналогично соединению бортовых секций. Дополнительно вводят забойные участки в основные продольные балки донца — вертикальный киль и стрингер, устанавливаемые после приформовки забойных частей шпангоута.

Палуба в районе оконечностей обычно не имеет стыков и устанавливается после соединения секций основного корпуса. Для судов длиной до 25—30 м палубу можно выполнять без стыков; при большей длине вводят поперечное соединение двух секций палубы. Стык секций располагают вне района действия максимальных напряжений. Его рекомендуется смещать в нос или в корму от мидель-шпангоута также на 15—20% длины судна.

Стык секций палубы располагают со смещением от стыка бортовых секций (если он имеется) в противоположном от мидель-шпан-

гоута направлении. Разное стыков палубы и бортов рекомендуется выполнять не менее чем на 5—6 шпангоутов.

Соединение секций палубы выполняют аналогично (см. рис. 128) бортовым секциям. При поперечной системе набора стыковые накладки располагают между соседними бимсами. Карлики каждой секции не доводят до линии стыка на шпанго и соединяют между собой забойными участками, устанавливаемыми после выполнения внутренней соединительной накладки.

При продольной системе набора забойные участки вводят во все палубные продольные ребра жесткости; забойными являются и два бимса, смежные со стыком настила палубы. Для обеспечения непрерывности внутреннего приформовочного угольника, соединяющего настил верхней (открытой) палубы с обшивкой борта, бимсовые килы также выполняют забойными. Если палуба является внутренней, то в ней делают вырезы для шпангоутов, а приформовочные угольники, соединяющие палубу с бортом, выполняют разрывными.

Секция главных поперечных переборок обычно выполняют в чистый размер по обводам корпуса. Их установка не встречает затруднений при поперечной системе набора при любом способе изготовления обшивки, так как для вертикального кила, стрингера и карликов в полонизе переборок предусмотрены вырезы, а продольный набор на бортах обычно отсутствует.

При продольной системе набора и разбивке корпуса на донцевую и бортовые секции в переборках предусматривают вырезы, в которые заводят ребра жесткости бортов. В этом случае в донцевую секцию сначала устанавливают переборки, а затем поддают для монтажа бортовые секции.

Для того чтобы не разрезать продольные ребра жесткости монолитной обшивки и обеспечить установку поперечных переборок, их бортовые части отводят к бортовым секциям. В этом случае участки переборок а виде бортовых шельфов или комбинтов заранее приформовывают к бортовой обшивке; продольные ребра жесткости пропускают непрерывно через полонизы переборки и заделывают.

Стык бортового шельфа с положением переборки располагают по возможности ближе к борту. В случае необходимости крайнюю стойку устанавливают как забойную деталь после формирования вертикальных соединительных накладок. Можно рекомендовать вариант установки забойных горизонтальных балок, соединяющих

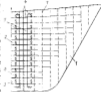


Рис. 143. Соединение носовой секции с бортом и донцем.

1 — носовая секция; 2 — бортовая обшивка; 3 — донцевая обшивка; 4 — забойные участки; 5 — забойные килы; 6 — забойный стрингер; 7 — форштевень переборки.

продольные ребра секций правого и левого бортов с крайними вертикальными стойками переборки (рис. 144).

Секции надстройки и рубок можно выводить в двух вариантах: монолитном и секционном. Небольшие рубки целесообразно изготавливать в виде монолитной обшивки секции в матрице, обеспечивающей выполнение обшивки любой конфигурации с хорошим внешним видом (рис. 145).

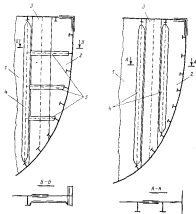


Рис. 144. Узлы стыкования переборки.

1 — переборка; 2 — киль бортовой секции; 3 — стыковые накладные; 4 — стыки; 5 — кильборт; 6 — киль; 7 — кильборт.

Большие надстройки, состоящие из нескольких ярусов и имеющие широкое крыло и перекрывающие стекла, обычно изготавливают из отдельных плоских или полусферических секций, соединяемых между собой стыковыми формованными соединениями, аналогичными соединением основного корпуса. К настилу палубы надстройки и рубки приформовывают угольниками, из которых наружный непрерывный, а внутренний может прерываться на стойках (рис. 146).

В заключение приводятся некоторые общие рекомендации, которые следует учитывать при разбивке корпуса на секции.

Еще не разработаны соединения (рис. 147), полностью обеспечивающие равнопрочность их элементов с основным материалом при



Рис. 145. Секция рубки катера.

различных деформациях корпуса. Поэтому нужно избегать расположения стыков и пазов секций в районах действия наибольших изгибающих моментов и срезающих сил (мираль-пангоут, 1/4

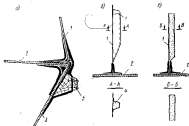


Рис. 148. Соединение надстройки с бортом и палубой: а — соединение надстройки катера с бортом; б — соединение одной из обшивок; в — соединение трехслойной обшивки.

1 — стена надстройки; 2 — киль палубы; 3 — борт; 4 — заделка палубы; 5 — приемный фланец.

длины от оконечностей), вблизи окончания вертикальных стоек основного корпуса (бортов, палуб) и расположение крупных вырезов (для поручней и выгрузки механизмов и оборудования, грузовые люки и др.).

Для обеспечения непрерывности соединительных накладок стоек и килей не должны пересекать вырезы в обшивках и настилах.

В средней части корпуса стыки обшивки и настилов в смежных конструкциях (днище, борта, палубы) следует разносить на несколько шпангоутов; а в межсекционных соединениях — разносить стыки обшивки и поддерживающего набора.

Не следует совмещать стыки надстроек со стыками основного корпуса судна. При разбивке корпуса на секции и узлы необходимо по возможности избегать излишних соединений, приводящих к увеличению веса, затрат труда и материалов и снижающих прочность конструкций.

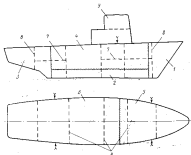


Рис. 147. Схема разбивки корпуса на секции.

1 — носовая обшивка; 2 — декинг; 3 — кормовая обшивка; 4 — борт;
5 — палубный трюм; 6 — палубные сооружения; 7 — платформа;
8 — переборки; 9 — надстройка.

При проектировании корпуса нужно выбирать для расположения стыков и пазов районы наименьших толщин, что дает увеличение прочности и снижение веса соединений. Оставленные без набора участки обшивки и настилов в районе стыков и пазов следует усиливать временными подкреплениями, обеспечивающими жесткость конструкций из стеклопластика при транспортировке и монтаже секций.

На рис. 147 приведена схема примерной разбивки на секции корпуса рыболовного судна из стеклопластика относительно большого водоизмещения.

Сборку такого корпуса можно производить в следующем порядке. В днищевую секцию устанавливают поперечные (продольные) переборки, между переборками — платформы и встраивают в корпус

дверные. Если судно имеет две палубы, устанавливают секции нижней палубы. После этого на сталеваз подают бортовые секции, которые стыкуют с днищевой секцией, поперечными переборками и нижней палубой (платформой). К носовой и кормовой частям состыкованного с бортами днища подают носовую и кормовую объемные секции и производят их стыкование с корпусом. Далее устанавливают титановые поперечные переборки, погружают в титановое пространство конструкции легких выгородок и закрывают корпус верхней палубой, стыкуя ее с бортами и переборками. После установки на верхнюю палубу надстройки сборку корпуса из секций можно считать законченной.

Указанная последовательность сборки корпуса не является обязательной и может меняться в зависимости от принятой схемы разбивки корпуса на секции и технологии постройки судна.

Приведенные выше рекомендации могут облегчать задачу технолога и конструктора по разбивке корпуса судна из стеклопластика на секции.

1. Анурд М. Г. Пластиком в реках судостроения. Л., «Судостроение», 1970.
2. Александров А. Я. и др. Ресурсы гребной энергии. М., Оборониздат, 1960.
3. Адамьян И. М. Пластмассовые стеклопластики для судостроения. Л., «Судостроение», 1964.
4. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории полнусты. М., Госиздат, 1952.
5. Архангельский Б. А., Адамьян И. М. Суды из пластика. Л., Судостроение, 1963.
6. Архангельский А. Г., Розенберг Е. Я. Трехслойные конструкции из судостроения и судоремонта. Калининградское изд-во, 1968.
7. Байков М. И., Массолов К. К. Малаясерийные способы формирования изделий из стеклопластика. «Судостроение за рубежом», 1968, № 12 (24).
8. Бажанов В. А. и др. Современное стеклопластиком. М., «Машгостроение», 1964.
9. Баранов В. С. Применение пластика в судостроении за рубежом. «Судостроение за рубежом», 1968, № 4 (16).
10. Блатов В. А. и др. Легкие судные конструкции из пластика. Л., «Судостроение», 1969.
11. Бонков В. А., Кунделен В. В., Соколов Н. А. Постройка корпусов малых судов из стеклопластика. Сб. «Катера и яхты», 1963, № 1.
12. Вагинюв А. М. Прогнуто-раздельные катера из стеклопластика с морской фаргой вертута. «Судостроение», 1968, № 3.
13. Ван Фю Фы Г. А. Основы теории армированных тел с ориентированной структурой. Сб. «Механика и механика армированных стеклопластиков». М., «Наука», 1967.
14. Вологда Д. В., Осичук В. В. Пластмассовые рыбоуловительные суда типа «Налева». «Судостроение», 1968, № 4.
15. Волытерра Э. Улучша среда в малолетности. Сб. «Механика», 1953, № 1.
16. Временные пробования в постройке суды внутреннего плаванья из пластика. Реферат РВРСР. М., «Транспорт», 1968.
17. Годман М. К., Васильев А. Л. Технологичность конструкций вертута суды. Л., «Судостроение», 1971.
18. Горбана В. Г., Массолов К. К., Марошничко Э. Ф. Малый катер для водной работы из стеклопластика. «Судостроение», 1963, № 3.
19. Гущин И. Е. Пластмассовый катер «МК-3». Сб. «Катера и яхты», 1964, № 4.
20. Гущин И. Е., Калюган «Смалда». «Судостроение», 1966, № 2.
21. Гущин И. Е., Заварудко Е. Н. Пластмассовый катер. «Судостроение», 1963, № 5.
22. Гущин И. Е., Кожухов С. И. Пластмассовая яхтенная типа «Олема». «Судостроение», 1963, № 9.
23. Гущин И. Е., Панков Л. В., Панфилов Н. А. Стяжка моторной яхты типа «Нейма» из стеклопластика. «Судостроение», 1965, № 4.
24. Гущин И. Е. Пластмассовая яхтенка «Креветка» (орейная). «Судостроение», 1964, № 2.
25. Дориджовт П. К., Калмычков А. П. О концевом смальце судной моторной яхтенки. Сб. труды НТО судорема. Вып. 74, 1960.
26. Дубо Г. Рудольфово и пластмассовою промышленно преобразованья Латвии. М., «Наука», 1965.
27. Екельчик В. С. Свойства яхты репродуцируемые пластиком из стеклопла-

- стика с учетом эластичности. Труды VII Всесоюзной конференции по теории пластичности и упругости. М., «Наука», 1970.
28. Заварудко А. П. Прогнутоый катер из стеклопластика. «Судостроение», 1967, № 1.
29. Изминин В. В. О некоторых проектных разработках конструкций корпусов рыбоуловительных судов из стеклопластика. «Судостроение за рубежом», 1969, № 2 (30).
30. Иванов А. П., Массолов К. К., Штепа В. Г. Пластмассовые яхты. «Судостроение», 1968, № 2.
31. Калмычков А. П. О некоторых особенностях клееных конструкций. «Судостроение», 1966, № 1.
32. Калмычков А. П., Прохоров В. Ф. О прочности клееных изделий. «Судостроение», 1967, № 8.
33. Катков П. П. Технология пластмассового судостроения и судоремонта. Л., «Судостроение», 1968.
34. Катков П. П., Костров А. И. Пластмассовый прогнутоый катер. «Судостроение», 1960, № 10.
35. Катков П. П., Костров А. И., Файнберг Е. Д. Шпангоуты катера из пластика. «Судостроение», 1964.
36. Качаков Л. М. Ученые подруги. М., Физматлит, 1960.
37. Кожухов С. И. и др. Постройка пластмассового суды. Л., «Судостроение», 1965.
38. Кузнецов В. В., Соколов Н. А. Корпус суды из пластика. Л., Судостроение, 1960.
39. Малаян Н. И. Прикладная теория пластичности и упругости. Изд-во, 1968.
40. Массолов К. К., Фрейман А. А. Моторная яхтенка из стеклопластика ШРМП-5.5. «Судостроение», 1967, № 2.
41. Мисагин А. В. Суды из пластика. М., «Речной транспорт», 1959.
42. Михайлов М. В. Прогнутоый суды в работе катера из стеклопластика. «Судостроение за рубежом», 1968, № 7 (19).
43. Михайлов М. В. Прогнутоый вертута глубоководных аппаратов из клееных стеклопластиков. «Судостроение за рубежом», 1967, № 5.
44. Михайлов М. В., Ткаченко К. С. Транзитный из стеклопластика. «Судостроение за рубежом», 1967, № 10.
45. Огубалов П. М., Суворова Ю. В. Малая яхтенка армированная пластиком. Изд-во ИГУ, 1966.
46. Панков Л. В., Панфилов Н. А. Малая серия рыбоуловительных судов из стеклопластика. «Судостроение», 1963, № 2.
47. Панфилов Н. А. Работоспособный метод из стеклопластика. «Судостроение», 1965, № 6.
48. Перри Г. А. Соединение армированных стеклопластиков. Л., Судостроение, 1960.
49. Пихула П. М. Морской пластмассовый катер. «Судостроение», 1966, № 1.
50. Пихула В. В., Шулькин В. И. Стяжка прорезывания и постройка стеклопластиковой яхты из пластика. «Судостроение», 1968, № 8.
51. Практика клееных конструкций и постройки морских суды. Часть IV. Ссылочные сведения. Реферат СССР. Л., «Транспорт», 1968.
52. Работин Ю. Н. Излучающая способность конструкций. М., «Наука», 1966.
53. Работин Ю. Н., Палерин Л. Х., Званов Е. К. Таблица двойно-интегральной функции определенных параметров и контуры из нее. М., «Наука», 1969.
54. Раздольни Ю. В. Крепление металлов на суды из пластика. Л., «Судостроение», 1965.
55. Рининин А. Р. Теория упругости. М., Стройиздат, 1968.
56. Ривкинд В. И. Особенности поведения стеклопластиков при длительном растяжении в направлении армирования. Доклады к XIV всесоюзной конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти П. Ф. Панкратова. НТО судорема. Вып. 74, 1965.

57. Рязанцев В. Р. Длительная устойчивость ортотропных дидимарических оболочек под действием внешнего давления. «Механика полимеров», 1969, № 2.
58. Роговский Я. Н. Механика упруго-вязкоупругих сред. Об. «Получение. Упругость и пластичность», ВШНТИ, 1967.
59. Седов Л. И. Удар волны, пластичность и обрывность жидкости. Труды ЦАГИ, Вып. 162, 1937.
60. Сядорский А. П. Механические свойства стеклопластиков при длительном нагружении. «Судостроение на рубежах», 1970, № 4 (37).
61. Скудра А. М. Деформативность и статическая устойчивость армированных пластиков при третнем плоском нагружении. Докладная диссертация. Институт проблем механики АН СССР, 1967.
62. Смирнова М. К. и др. Прочность корпусов судов из стеклопластика. Л., «Судостроение», 1966.
63. Сухоцкий Г. В. Четырехосевый корпус из стеклопластика. «Судостроение», 1964, № 1.
64. Тетерев Г. А. Сложные нагружения и устойчивость оболочек из полимерных материалов. Рига, «Смолтакс», 1966.
65. Фурдест М. Д. и др. Суды из стеклопластика (внедрение в ракетное производство). Л., «Судостроение», 1964.
66. Цыпляков О. Г. Судовые трубопроводы из стеклопластика. Л., «Судостроение», 1967.
67. Черномордик М. Е. Усталость полимерных стеклопластиков при работе судовых конструкций. Труды ЛНВТ, Вып. XXII, Л., «Речной транспорт», 1964.
68. Шенченко В. А., Мейтин Я. М. Свойства пластика. Киев, «Техника», 1964.
69. Шиманский Ю. А. Сборник статей по судостроению. Л., Судостроение, 1954.
70. Юшкин Е. И., Рабинович Я. И. Постройка корпусов из стеклопластика. «Судостроение», 1960, № 8.
71. De Vries N. A. *Aviation Engineering*, 1944, 16, 115.
72. Findley W. N. *Creep and Relaxation of Plastics*, Machine Design, 1960, No 10.
73. Goland M. and Reissner E. J. *Applied Mechanics*, 1944, 11, 417.
74. Muzilov S. *Report of Progress in Physics*, 1949, 12.
75. Provisional Rules for the Application of glass Reinforced Plastics to Fishing Craft. Lloyd, 1966.
76. Wende A. *Glasfaserverstärkte Plaste*, Leipzig, 1963.