

## Модульные принципы строительства боевых кораблей. Основные положения технологии

**К**рупноблочное строительство и агрегатный монтаж насыщения гражданских судов в настоящее время является основным принципом технологии мирового судостроения, он позволяет снизить трудоемкость и сроки строительства судов и, как следствие, сократить их стоимость. В России этот метод получил название модульно-агрегатного метода строительства судов. Однако этот принцип не может быть автоматически перенесен на строительство боевых кораблей, что обусловлено высокой степенью насыщенности их помещений, требованиями точности позиционирования и эксплуатации его полезной нагрузки, которой является вооружение.

Поэтому вначале, как правило, из крупных блоков строится корпус корабля, а затем монтируется насыщение в виде агрегатов или модулей. При одинаковом водоизмещении боевой корабль строится дольше и стоит существенно дороже гражданского судна.

Полезная нагрузка – вооружение боевого корабля – быстро устаревает как физически, так и морально. Его боевые возможности со временем ухудшаются, и для их восстановления требуется модернизация, процесс которой длителен и затратен.

С целью снижения затрат на строительство и поддержание боевых возможностей кораблей в период их эксплуатации в 80-ые годы в Дании была высказана идея **модульного** строительства кораблей по принципу конструктора детских игрушек LEGO путем создания морской системы SEAFRAME сменных корабельных модулей. Реализация этой идеи трансформировалась в ряд концепций.

Идеология SEAFRAME была использована при реализации программы Standard Flex 300 строительства 14 корветов Дании типа Flyvefisken. Данная идеология предполагает монтаж и крепление на болтах сменных модулей вооружения на палубе стандартного корабля – платформы с общими системами управления, навигации и связи.

Вариантом модульной концепции SEAFRAME является идеология Modular Payload для литоральных боевых кораблей (ЛБК) США типов Freedom и Independence (предполагается к постройке 8 кораблей). При этом в корпусе корабля под верхней палубой и палубами надстройки формируются помещения достаточных размеров для размещения сборочных единиц вооружения в модульном исполнении. Верхняя палуба в районе выре-

зов, предназначенных для погрузки модулей вооружения сверху, имеет подкрепления, обеспечивающие необходимую жесткость корпуса корабля. Все элементы корабельных комплексов выполняются в виде согласованных модулей. Ракетный комплекс, например, включает в себя модуль управления, боевой модуль и платформу для него, устанавливаемую на нижней палубе корабля.

Концепция МЕКО фирмы Blohm + Voss GmbH (Германия) рассматривает корпус корабля в виде жесткой несущей платформы с ячейками, в которые вставляются, выверяются и крепятся с помощью болтовых соединений модули корабельных комплексов вооружения. При этом доля корпуса в водоизмещении корабля существенно возрастает, а доля полезной нагрузки соответственно уменьшается. Расчеты показывают, что переход на концепцию МЕКО для фрегатов и корветов уменьшает массу их комплексов вооружения не менее, чем на 30 %. А это означает либо потерю систем дальнего действия, либо существенное уменьшение боезапаса. Боевые возможности такого модульного корабля, в связи с сокращением объема полезной нагрузки, ухудшаются по сравнению с кораблем традиционной конструкции равного водоизмещения. Вместе с тем, в связи с относительно небольшими ценами и сроками строительства для третьих стран (по крайней мере для демонстрации их флага) строится и уже построено более 50 фрегатов и корветов с серийным вооружением, имеющимся на рынке.

Анализируя опыт использования описанных выше концепций по данным зарубежной печати, можно отметить, что переход к модульным кораблям выявил следующие проблемы [1]:

- ▶ Потеря полезных объемов в корпусе корабля. Данная проблема, во-первых, связана с формированием специально выделенных объемов “монтажных зон” для модулей. Из примерно 3000 т водоизмещения ЛБК только 400 т приходится на полезную нагрузку, а на долю сменных боевых модулей приходится порядка 180 т. Во-вторых, крепление модулей механическим способом в отличие от крепления на сварке требует специальных фундаментов или платформ с подкреплениями, что затрудняет компоновку корабля. Данная проблема особенно актуальна для кораблей небольшого водоизмещения.
- ▶ Выключение несущих конструкций модулей из работы корпуса корабля. Корабли, построенные по

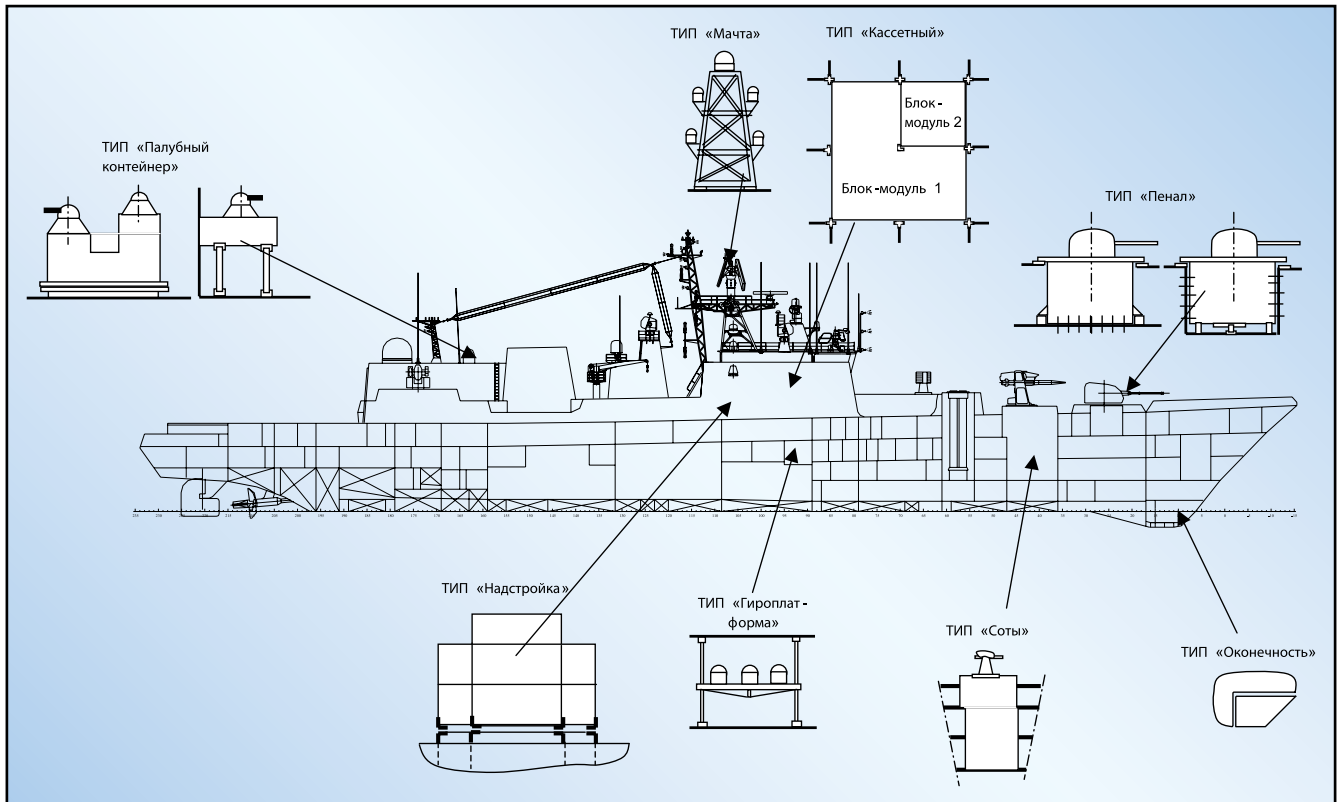


Рис. 1. Принципиальная схема корабля с зонально-модульным принципом монтажа корабельных комплексов вооружения на сварке

идеологии Modular Payload, неизбежно будут иметь, помимо избытка водоизмещения, большой изгиб и упругие деформации на плаву, поскольку несущие конструкции модулей практически выключены из эквивалентного бруса корабля. Большие деформации корпуса после спуска в свою очередь ведут к рассогласованию точных корабельных комплексов во время эксплуатации.

► Содержание необходимого избытка модулей. Реализация идеи сменных модулей предполагает наличие определенного их избытка. Для содержания и замены модулей, а впоследствии для их утилизации, требуются соответствующая инфраструктура и затраты в мирное время, особенно при протяженной морской границе. Необходимо также учесть затраты на переобучение и сменность экипажей. В настоящее время ВМФ Дании по причине дороговизны эксплуатации отказались от содержания сменных модулей оружия для кораблей типа Flyvefisken по программе Standard Flex.

► Позиционирование модулей при замене. В период эксплуатации вследствие деформаций корпусных конструкций корабля имеет место рассогласование элементов системы корабельных баз, а также их утрата по разным причинам. Восстановление системы корабельных баз при ремонте и модернизации кораблей, особенно находящихся на плаву, требует применения специальной аппаратуры и достаточно трудоемкой методологии, выполняемой высококвалифицированными специалистами. Это затрудняет согласование точных корабельных комплексов при замене модулей силами ремонтных служб ВМФ. В предложенной системе LEGO нет замка, обеспечи-

вающего однозначность позиционирования модулей вооружения.

► Сложность согласования кабельных и трубопроводных трасс корабля при замене модулей на другой тип или при получении боевых повреждений.

Другим подходом при поиске оптимальных модульных принципов строительства кораблей является **зонально-модульное** проектирование корабля.

Концепция SEAMOD, принятая при строительстве эсминцев типа Spruance и авианосца Nimitz в США, предусматривает оптимизацию крупных объемов корабля в районах (зонах) устройств вооружения, изготовление и максимальное насыщение этих объемов вне стапеля с повышенными требованиями к точности стыков и, наконец, монтаж и крепление их на сварке в стапельный период постройки корабля. Системы вооружения устанавливаются в помещения и на палубу блоков преимущественно по схеме "открытого неба" и крепятся на болтах. Допуски на монтаж систем вооружения в блоках увеличиваются, а окончательное согласование корабельных комплексов осуществляется на специальных полигонах FORACS с введением в БИУС поправок, определяемых на полигоне.

В России в 80-е годы также разрабатывались концепции модульного строительства кораблей. Концепция ЦНИИТС (ЦТСС), представленная в отраслевом документе 74-0205-130-87, имея идеологию, аналогичную вышеописанной идеологии SEAMOD и опирающуюся на достижения современной измерительной техники, предусматривает зональное проектирование и строительство кораблей с модульными принципами монтажа комплексов вооружения на сварке (рис. 1). Зональные блоки вооружения кораблей были унифицированы по типам, каждому

из которых соответствуют свои узлы и технологии крепления на сварке, обеспечивающие требуемую точность монтажа. Несущие конструкции зональных блоков могут являться несущими конструкциями модулей вооружения, что снижает общую массу модуля вооружения. Стыки зональных блоков и модулей снабжаются системами принудительного позиционирования повышенной точности, являющимися по существу замком LEGO, что обеспечивает однозначность позиционирования модулей вооружения при строительстве и при их замене.

Проведенный анализ проектно-технологических факторов модульного строительства кораблей позволяет наметить следующие пути решения вышеуказанных проблем создания кораблей на модульных принципах:

- ▶ Переход в первую очередь к зонально-модульному проектированию кораблей с машиностроительными принципами изготовления и сборки их составных частей.
- ▶ Унификация сборочных единиц вооружения и другого корабельного оборудования с доведением их до модульного исполнения.
- ▶ Разработка несущих конструкций модулей и поставка их судостроителями должна осуществляться преимущественно со сварными узлами крепления и элементами базирования, обеспечивающими точность и однозначность позиционирования модулей при многократной установке или замене в процессе ремонта и модернизации. Целесообразно предусматривать включение несущих конструкций в работу корпуса. При отсутствии модуля следует устанавливать соответствующие технологические подкрепления.
- ▶ Сменность модулей следует предусматривать лишь в процессе модернизации кораблей, выполняемой в мирное время на оборудованных для этой цели судостроительных и судоремонтных заводах. Содержать избыток модулей в мирное время, тем более при протяженной морской границе государства, вряд ли экономически целесообразно. Модернизация же кораблей во время войны проблематична. Поэтому представляется более правильным иметь специализированные корабли, построенные по зонально-модульному принципу, в достаточном количестве для решения угроз в соответствии с военной доктриной государства и совершенствовать внешние средства решения специфических задач с применением корабельных вертолетов и бортовых катеров, в том числе и телеуправляемых.
- ▶ Позиционирование модулей следует осуществлять по системе принудительного базирования, как это, например, сделано для агрегатов гидроприборов системы "Ладога". На корабле должна быть точная система корабельных баз, обеспечивающая возможность инструментального согласования корабельных комплексов.

Модульная концепция чрезвычайно зависима от сроков и логистики поставок. Необходимо разработать нормативы по порядку и обязательствам поставок.

Далее следует модернизировать не только судостроительное, но и существующее судоремонтное производство, а также базы флота, включая учебные.

Таким образом, переход к созданию кораблей с модульными принципами построения является комплексной задачей, и в ее решении должны принимать участие специалисты ВМФ, проектных и технологических предприятий судостроения, проектантов и изготовителей корабельных комплексов вооружения. Одномоментное решение этой задачи невозможно.

Комплексность решения указанных проблем должна быть основана на учете в конструкторско-технологических решениях всего жизненного цикла (этапов строительства, эксплуатации, ремонта и модернизации) корабля, а также целевой функции модульного исполнения вооружения и платформы-носителя.

**Зонально-модульное** проектирование предусматривает оптимизацию крупных объемов корабля в зонах устройств вооружения, изготовление и максимальное насыщение этих объемов вне стапеля с повышенными требованиями к точности стыков и, наконец, монтаж и крепление их на сварке в стапельный период постройки корабля. Данный тип проектирования включает в себя:

- ▶ Зональное 3D-проектирование крупных блоков и модульных сборок вооружения с компьютерной проработкой технологии и последовательности заполнения зон.
- ▶ Формирование на стыках блоков и модульных сборок монтажных зон (районов).
- ▶ Проектирование магистральных трубопроводов и кабелей, проходов через переборки и соединителей для подключения локальных трубопроводов и кабелей.
- ▶ Расчеты собираемости зональных блоков и крупных сборочных единиц оборудования и вооружения с целью формирования системы баз зон, их иерархии и допусков.
- ▶ Опережающий выпуск чертежей зональных блоков и модульныхборок.

Основные принципиальные положения технологии этапов строительства корабля с зональными блоками корабельных комплексов вооружения:

1. Сборка корпусных конструкций зональных блоков и несущих элементов входящих в них сборочных единиц на специализированных позициях корпусо-сборочного цеха с обеспечением следующих технологий и мероприятий:

- ▶ носовая оконечность и сложные объемные секции изготавливаются каркасным методом, остальные объемные секции – на коксовых регулируемых постелях;
- ▶ борьба с деформациями за счет использования специальных узлов и технологий, в том числе лазерной сварки, прогнозирование сварочных деформаций, снятие сварочных напряжений;
- ▶ трехмерные измерения конструкций с электронным документированием (рис. 2);
- ▶ применение цеховой измерительной системы Indoor GPS при изготовлении и сборке объемных секций;
- ▶ позиционирование объемных конструкций, например при сборке объемных секций, по трем базовым точкам в цеховой системе Indoor GPS;
- ▶ применение роботов и лазерной сварки в открытых объемах;

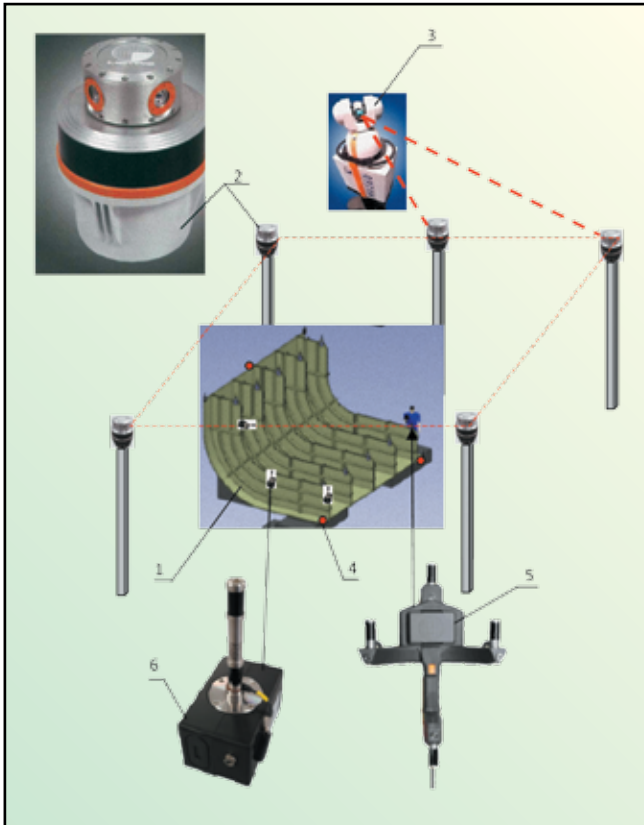


Рис. 2. Трехмерные измерения конструкций с электронным документированием в системе Indoor GPS при изготовлении объемных секций

1 – объемная секция; 2 – лазерные передатчики; 3 – лазерный радар; 4 – базовые точки секции; 5 – портативный приемник с компьютером; 6 – закрепляемый приемник

- ▶ непрерывный контроль состояния баз (деформаций блоков);
- ▶ размерный контроль стыков объемных секций, зональных блоков и несущих конструкций сборочных единиц.

2. Параллельное насыщение зональных блоков и модульных сборочных единиц на специализированных позициях преддоковых площадок или специального цеха агрегатирования с обеспечением следующих технологий и мероприятий:

- ▶ подача зональных блоков и несущих конструкций сборочных единиц из собственного корпусо-сборочного цеха трейлерами или водным путем на технологических понтонах от других предприятий;
- ▶ трехмерные измерения помещений и контроль состояния баз, электронное позиционирование фундаментов, трассировка магистральных труб и кабелей, обработка фундаментов;
- ▶ расконсервация и входной контроль оборудования зональных блоков и несущих конструкций сборочных единиц;
- ▶ предмонтажная подготовка оборудования, агрегатирование, формирование крупных сборочных единиц типа “зональный блок”, “рама” или “пенал”, фиксация их баз. Стендовые испытания оборудования от технологических энергосистем;
- ▶ составление паспортных данных крупных сборочных единиц. Корректировка баз. Для нежестких

конструкций определение исходных данных для обеспечения стендовой формы сборочной единицы и положения оборудования в ней (определение нагрузок динамометров или взаимного положения реперов контрольных плоскостей);

- ▶ погрузка оборудования в зональные блоки. Крупное оборудование грузится либо сверху через съемные листы, либо закатывается через технологические вырезы с торцов или сбоку зональных блоков;
- ▶ позиционирование оборудования на фундаментах относительно баз корпусных конструкций зонального блока с помощью трехмерных средств измерения;
- ▶ монтаж локальных трубопроводов и кабелей, вентиляции. Промывка систем от технологических стенов и контроль их чистоты;
- ▶ малярно-изолировочные работы;
- ▶ подготовка к хранению оборудования зональных блоков и крупных сборочных единиц вооружения, устанавливаемых на последующих этапах строительства корабля. Динамическое осушение закрытых помещений. Закрытие пленкой оборудования открытых помещений и крупных сборочных единиц вооружения с наддувом сухого воздуха под пленку;
- ▶ подача зональных блоков и крупных сборочных единиц на стапель трейлерами или водным путем на технологических понтонах.

3. Сборка корабля на стапеле. Точное позиционирование зональных блоков в единой системе координат Indoor GPS дока. Автоматизированная сварка стыков блоков после их точного позиционирования с обеспечением следующих технологий и мероприятий:

- ▶ прецизионное позиционирование зональных блоков в блоке корпуса корабля по трем базовым точкам с использованием трехмерных средств измерения;
- ▶ контроль стыков блоков с помощью лазерного радара с установкой трех точек принудительного базирования и составлением электронного паспорта стыка. Виртуальная сборка стыков блоков;
- ▶ установка блоков основного корпуса на позиционеры транспортного средства;
- ▶ позиционирование блоков в единой системе координат Indoor GPS дока;
- ▶ установка и позиционирование на стыках роботизированных сварочных средств, в том числе лазерных;
- ▶ сборка кормового и примыкающего к нему блока и параллельно сборка носового и примыкающего к нему блока;
- ▶ сварка стыков блоков с использованием роботизированных средств;
- ▶ заполнение монтажных зон насыщением;
- ▶ сборка основного корпуса корабля;
- ▶ предварительный монтаж валопровода. Контроль и компенсация несоосности дейдвудных опор и ГУП. Установка системы базовых элементов для контроля изгиба корпуса корабля и учета его при окончательной центровке валопровода на плаву;



- ▶ установка основного зонального блока надстройки, остальных зональных блоков надстройки и мачт с обработанными фундаментами;
- ▶ завершение малярно-изолирующих работ;
- ▶ нанесение единых баз корпуса и системы контроля его упругих деформаций;
- ▶ размагничивание корабля;
- ▶ спуск корабля.

4. Достройка корабля на плаву. Инструментальное согласование оружия без выхода в море с обеспечением следующих технологий и мероприятий:

- ▶ контроль изменений упругой линии корабля при спусковой нагрузке. Расчетно-экспериментальное прогнозирование изменений упругой линии корабля после достижения нормального водоизмещения;
- ▶ окончательная центровка валопровода;
- ▶ погрузка и монтаж неустановленных зональных блоков и модулей вооружения;
- ▶ проверка действительного положения систем вооружения и согласование их инструментальными методами;
- ▶ достройка корабля на плаву;
- ▶ имитационные швартовные испытания;
- ▶ заводские испытания.

Сравнение трудоемкости и продолжительности строительства корабля типа "фрегат" блочно-секционным и зонально-модульным методами показывает снижение трудоемкости до 40 % и продолжительности до 25 % при строительстве зонально-модульным методом.

Список важнейших технологий и СТО, специальных производств, подготовки кадров и других мероприятий, связанных с зонально-модульным строительством кораблей:

- ▶ оснащение верфей современными трехмерными и другими средствами измерений с электронным документированием результатов измерений и необходимым метрологическим обеспечением для калибровки средств измерений;
- ▶ создание высокотехнологичных цехов или участков агрегатирования и предмонтажной подготовки оборудования, а также сборки зональных блоков;
- ▶ комплексная автоматизация и роботизация корпусообрабатывающего и сборочно-сварочного производств;
- ▶ реконструкция трубообрабатывающих и электро-монтажных цехов, создание производств компенсирующих шлангов и сильфонов различного давления, а также малогабаритных корабельных электрических соединителей;
- ▶ внедрение технологий минимизации сварочных деформаций при сборке частей судна на сварке (под контролем, в жестком контуре, на упруго-пластическом шарнире, с компенсаторами и др.), технологий снятия (уменьшения) остаточных напряжений сварных конструкций с необходимыми средствами реализации этих технологий;
- ▶ оснащение верфей крановым оборудованием с большой высотой и большим вылетом стрелы для достроечных набережных, средствами напольного перемещения;

- ▶ оснащение верфей плавдоками, плавкранами и технологическими понтонами для монтажа крупных блоков надстроек и мачт, а также зональных блоков гидроакустических станций на плаву;

- ▶ оснащение достроечных набережных средствами для инструментальных методов согласования корабельных комплексов вооружения без выхода в море, включая теодолитные посты, юстировочные щиты, угловые отражатели и излучатели, буйковые гидрофоны, астрономо-геодезические пункты эталонирования гиротеодолитов;

- ▶ оснащение верфей специализированными переносными станками для обработки корабельных фундаментов, переносными технологическими станциями для промывки и испытания корабельных систем и оборудования, технологическими средствами приготовления и заливки полимерных компенсаторов.

Организационно-технологическая схема изготовления и монтажа крупных сборочных единиц вооружения при зональном методе проектирования и постройки корабля представлена на рис. 3.

При **модульном** методе проектирования и постройки кораблей для каждого их класса необходима типовая платформа-носитель с типовыми объемами для размещения систем вооружения с типовыми узлами соединения типовых несущих конструкций сборочных единиц вооружения.

В типовые объемы платформы-носителя устанавливаются монтажные блоки и модули вооружения со стандартными несущими конструкциями. Предполагается также использование зональных блоков с нестандартными несущими конструкциями, включающими специфические части надстройки, мачт, носовой и кормовой оконечностей и других элементов архитектуры корабля.

Замена модулей и монтажных блоков вооружения производится при модернизации корабля. При среднем ремонте указанные сборочные единицы после установки соответствующих технологических подкреплений демонтируются с корабля и поступают в специализированный цех ремонта вооружения. Замена и утилизации могут подвергаться любые части демонтированных сборочных единиц, кроме несущих конструкций, поскольку изменение их может отразиться на эквивалентном брусе корабля.

Для обеспечения высокой точности согласования базовых элементов вооружения, повышения ремонтпригодности и модернизационных возможностей, а также снижения трудоемкости и сроков постройки, ремонта и модернизации корабля представляется целесообразным наличие по диаметральной плоскости (ДП) платформы-носителя прямого продольного коридора-тоннеля для энергетических магистральных коммуникаций и светового канала оптоэлектронных систем прицеливания. В этом случае магистральные коммуникации могут быть установлены на съемных стандартных монтажных рамах или панелях, закрепляемых к внутренним поверхностям коридора-тоннеля с возможностью демонтажа их и агрегатной выгрузки с корабля. Появляется возможность установки в канале единой оптико-электронной системы согласования оружия (системы прицеливания) с учетом деформаций

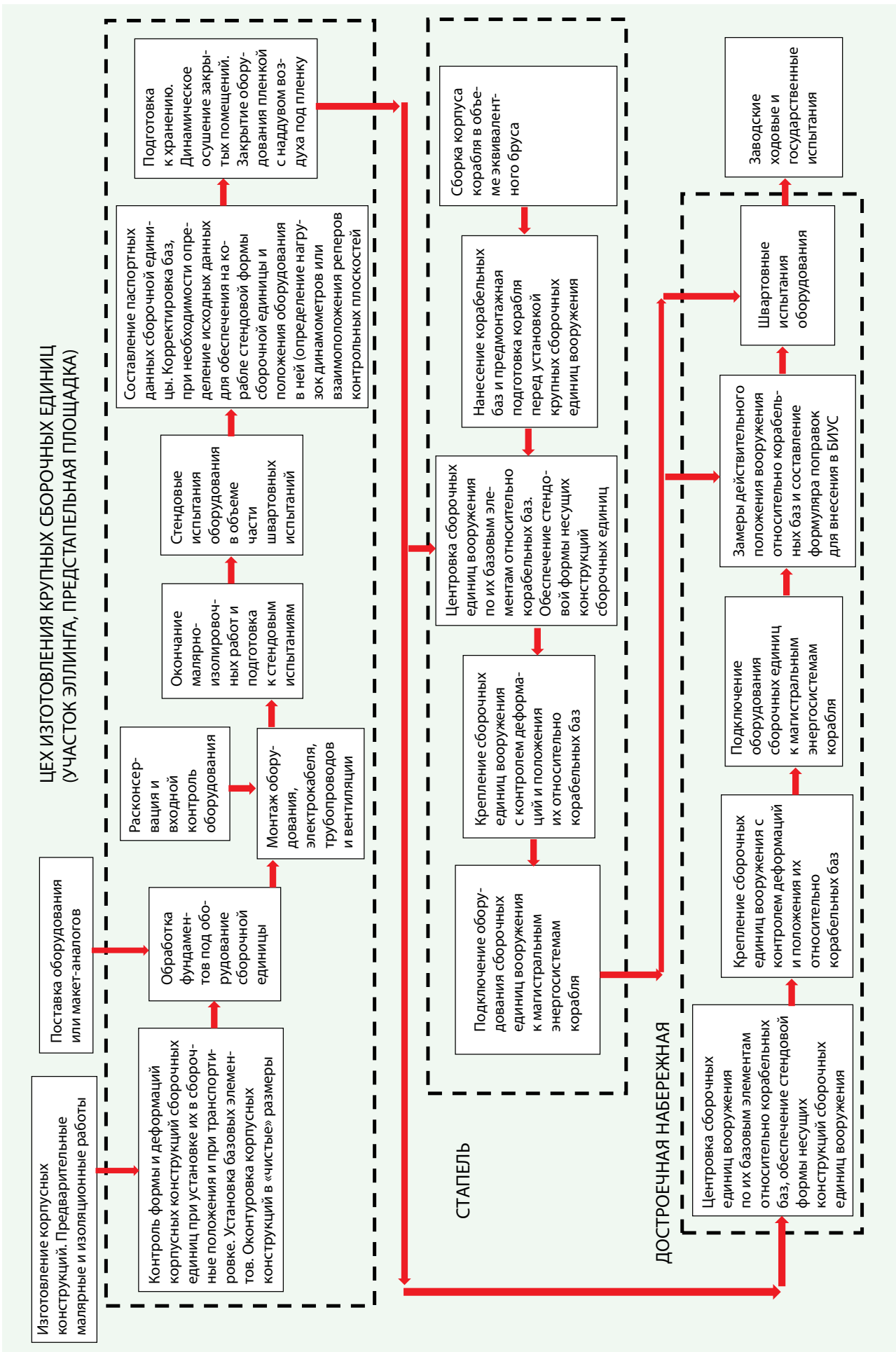


Рис. 3. Организационно-технологическая схема изготовления и монтажа крупных сборочных единиц вооружения при зональном методе проектирования и постройки корабля

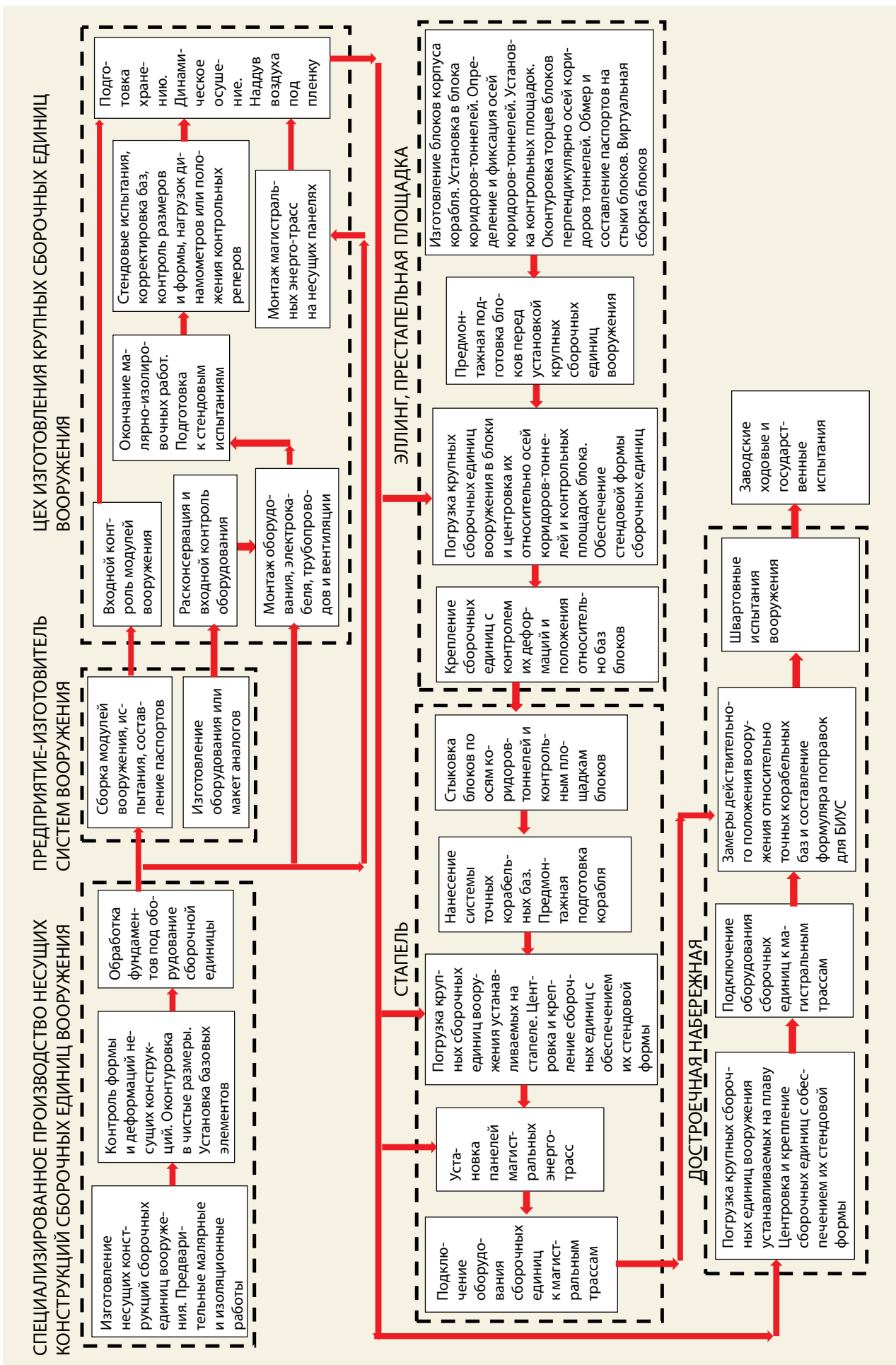


Рис. 4. Организационно-технологическая схема изготовления и монтажа модулей вооружения при модульном методе проектирования и постройки корабля с применением платформ-носителей

корпуса корабля. Канал может быть использован также для точной центровки крупных блоков корабля.

Соединение локальных и магистральных коммуникаций осуществляется через быстроразъемные соединения. При невозможности применения кабельных соединителей кабель следует аккуратно расположить бухтами в монтажных зонах.

Для соединения трубопроводов, передающих сжатый воздух, воду, нефтепродукты и т.д., следует использовать гибкие металлические и резиновые шланги.

Отличительной особенностью монтажа вооружения является необходимость обеспечения высокой точности положения его относительно баз корабля при достижении им нормального водоизмещения в процессе постройки.

Этап постройки корабля (в блоке, на стапеле или на плаву), на котором следует осуществлять монтаж сборочных единиц вооружения, определяется в зависимости от требуемой точности, расположения на корабле, конструктивно-технологических решений узлов соединения с кораблем несущих конструкций сборочных единиц вооружения. Алгоритм выбора этапов монтажа сборочных единиц вооружения в зависимости от требуемой точности их монтажа представлен в отраслевом документе 74-0205-130-87.

Организационно-технологическая схема изготовления и монтажа модулей вооружения при модульном методе проектирования и постройки корабля с применением платформ-носителей представлена на рис. 4.

## Заключение

Выбор модульного принципа проектирования и строительства кораблей по **зонально-модульной** или чисто **модульной** концепции из набора стандартных платформ кораблей и сменных модулей оружия определяется:

- ▶ целевой функцией создания кораблей на модульных принципах;
- ▶ наличием необходимой базы данных для проектирования таких кораблей;
- ▶ готовностью судостроительных и судоремонтных заводов к их строительству и ремонту, ВМФ – к их эксплуатации, а баз и других инфраструктур ВМФ – к их обслуживанию.

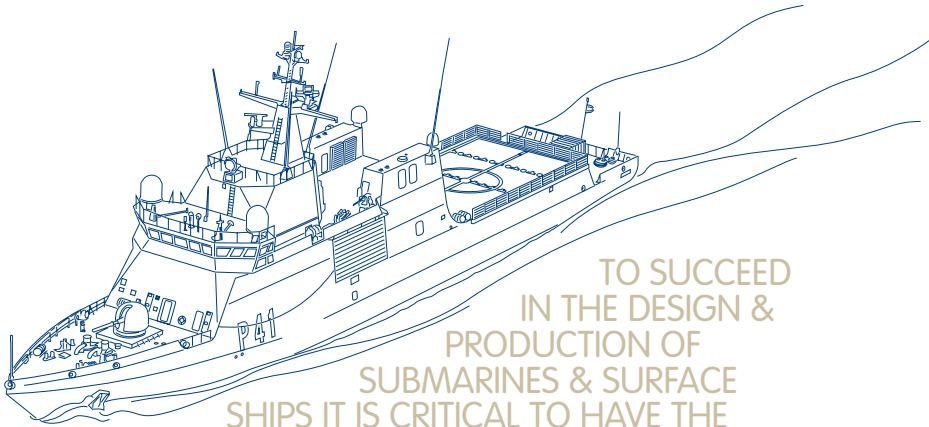
Представляется целесообразным, чтобы переход от модульно-агрегатного метода к модульным принципам осуществлялся первоначально к зонально-модульному методу, а затем к чисто модульной концепции строительства кораблей.

Л. П. Гаврилюк, д.т.н., ОАО "ЦТСС"

## Литература


1. Гаврилюк Л. П., Комок А. И. Модульные принципы строительства боевых кораблей. Некоторые проблемы и пути их решения // Судостроение, № 5, 2011.
2. Гаврилюк Л. П. Принципы базирования конструкций и оборудования при их сборке и монтаже // Вестник технологии судостроения, № 15, 2008.

Naval, Commercial & Offshore




TO SUCCEED  
IN THE DESIGN &  
PRODUCTION OF  
SUBMARINES & SURFACE  
SHIPS IT IS CRITICAL TO HAVE THE  
RIGHT SOLUTION, ENSURING QUALITY, EFFICIENCY  
& PERFORMANCE, WITH A SEAMLESS  
INFORMATION MANAGEMENT AND CONTROL  
WITH **FORAN**  
THIS IS POSSIBLE

Courtesy of Naventia



**FORAN 70**  
At the forefront in shipbuilding engineering

www.foran.es  
www.sener.es





МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВОЕННО-  
МОРСКОЙ  
САЛОН



INTERNATIONAL  
MARITIME  
DEFENCE  
SHOW

**IMDS**  
**2013**  
**3-7 июля**  
**РОССИЯ**

**Санкт-Петербург**

- ЭКСПОЗИЦИОННО-ВЫСТАВОЧНЫЙ РАЗДЕЛ
- ДЕМОНСТРАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ТЕХНИКИ
- КОНГРЕССНО-ДЕЛОВОЙ РАЗДЕЛ
- VIP-ПЕРЕГОВОРЫ
- ПОСЕЩЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ



Устроитель



ЗАО «Морской Салон»

[www.navalshow.ru](http://www.navalshow.ru)

**«ЧЕРЕЗ СОТРУДНИЧЕСТВО - К МИРУ И ПРОГРЕССУ!»**