

RESEARCH APPROACHES TO IMPROVING THE TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF CONSTRUCTION OF VESSELS OF THE FLOATING POWER UNIT TYPE

E. S. Moseiko¹, E. O. Olkhovik²

¹ “Iceberg” Central Design Bureau, St. Petersburg, Russian Federation

² Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The This study analyzes organizational and technological approaches to improving the manufacturability, or technological efficiency, of constructing floating power units (FPUs), which represent a promising solution for energy supply to Arctic territories and the infrastructure of the Northern Sea Route. The relevance of the work is determined by state plans for Arctic development and the necessity of mastering serial production of FPUs, which requires reducing labor intensity, construction time, and costs while ensuring high quality of hull structures and the safety of nuclear power installations. The purpose of the research is to systematize organizational and technical measures aimed at improving efficiency at all stages of the FPU life cycle. The study examines the experience of constructing the “Akademik Lomonosov” and distributed shipyard projects, identifying ten key technological positions in production, including lofting, hull processing, outfitting, and testing. The authors propose developing general technical requirements (GTR) for the fabrication of hull structures, protective shells, and pipelines, as well as introducing albums of standard hull structures and welded joints to standardize production. Particular attention is given to design and technological solutions, such as optimizing the placement of cutouts in sections, minimizing assembly welded joints, and applying probabilistic methods, including PERT/COST, for estimating durations. The study further considers improvements in non-destructive testing of welded joints, the transition to national standards, the potential use of polymer pipelines for auxiliary systems, and optimization of the testing program for protective shells and reactor compartment barriers. A comprehensive system of organizational and technical measures has been developed, covering technological support for construction, quality management, and documentation unification. The obtained results can serve as a methodological basis for the development of manufacturability management programs in serial production of FPUs and may be adapted for other Arctic vessel projects, providing both practical guidance and a framework for improving construction efficiency while maintaining safety and reliability.

Keywords: shipbuilding, ship repair, floating power units, Northern Sea Route, organizational and technological measures, hull structures, welded joints, protective shells, pipelines, construction efficiency.

For citation:

Moseiko, Evgeniy S. and E. O. Olkhovik. “Research approaches to improving the technological efficiency of construction of vessels of the floating power unit type.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 18.1 (2026): 98–111. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-1-98-111.

УДК 629.12.002

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СУДОВ ТИПА ПЛАВУЧИЕ ЭНЕРГОБЛОКИ

Е. С. Мосейко¹, Е. О. Ольховик²

¹ АО ЦКБ «Айсберг»

² ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»

В исследовании выполнен анализ организационно-технологических подходов к повышению технологичности строительства плавучих энергоблоков, являющихся перспективным решением для энергоснабжения арктических территорий и инфраструктуры Северного морского пути. Актуальность

работы обусловлена государственными планами по развитию Арктической зоны и необходимостью освоения серийного производства плавучих энергоблоков, требующего снижения трудоемкости, сроков и стоимости строительства при сохранении высокого качества корпусных конструкций и безопасности атомных энергетических установок. Цель исследования заключается в систематизации организационно-технических мероприятий, направленных на повышение эффективности производства плавучих энергоблоков на всех этапах жизненного цикла. Рассмотрен опыт строительства плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» и проектов распределенной верфи, выделены десять ключевых технологических позиций производства — от плазовых работ и корпусообработки до достроечных работ и испытаний. Предложена разработка общих технических требований к изготовлению конструкций корпуса, защитных оболочек и трубопроводов, внедрение альбомов типовых корпусных конструкций и сварных соединений для унификации производства. Особое внимание уделено конструктивно-технологическим решениям: оптимизации расположения вырезов в секциях, минимизации монтажных сварных соединений, применению вероятностных методов оценки сроков (PERT/COST). Исследование содержит предложения по совершенствованию неразрушающего контроля сварных соединений с учетом перехода на национальные стандарты, возможности применения полимерных трубопроводов для вспомогательных систем, а также оптимизации программы испытаний защитных оболочек и ограждений реакторного отсека. Разработана система организационно-технических мероприятий, включающая технологическое обеспечение строительства, управление качеством и унификацию документации. Полученные результаты могут служить методологической основой для разработки программ управления технологичностью при серийном производстве плавучих энергоблоков и быть адаптированы для других проектов судов арктического назначения.

Ключевые слова: плавучие энергетические блоки, Северный морской путь, строительство судов, организационно-технологические мероприятия, усиление корпуса судна, водонепроницаемые и противопожарные переборки, сварные соединения, герметичность, защитная оболочка, трубопроводы.

Для цитирования:

Мосейко Е. С. Исследование подходов повышения технологичности строительства судов типа плавучие энергоблоки / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2026. — Т. 18. — № 1. — С. 98–111. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-1-98-111. — EDN WEBLHF.

Введение (Introduction)

Государственные планы по развитию Северного морского пути¹ (СМП) и его инфраструктуры² предполагают развитие энергетических мощностей, обеспечивающих функционирование инфраструктуры СМП пути и прибрежных территорий. Плавучие энергоблоки (ПЭБ) предназначены для работы в качестве источника электроэнергии в составе инфраструктуры для обеспечения выдачи в береговую сеть электроэнергии и потребителям собственных нужд. Представляет собой новый класс энергоисточников на базе атомного судостроения. Ледовые усиления корпуса спроектированы на класс Arc4 с учетом арктических условий и районов эксплуатации ПЭБ. Корпус ПЭБ выполнен в виде понтона с двойным дном и двойными бортами, разделен на отсеки водонепроницаемыми поперечными и противопожарными переборками, имеет продольную систему набора.

В перспективе планируется выпуск серийных ПЭБ с разными типами мощностей выдачи или электроэнергии на берег [1], что потенциально обеспечит Арктическую зону Российской Федерации необходимыми энергоресурсами [2] для развития. При этом в рассмотренном исследовании [3] о развитии судостроения предлагается применение блоков-модулей секций, включающее в их состав судовое оборудование, трубопроводов и арматуры для снижения трудоемкости в корпусостроительном производстве. Рассмотрены варианты строительства судов в межзаводской кооперации. Тем не менее по этой причине потребуются необходимость внедрения крупного кранового оборудования. Кроме того, в проведенном исследовании [4] о состоянии современного

¹ Распоряжение Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р (ред. от 28.04.2023) «Об утверждении Плана развития Северного морского пути на период до 2035 года».

² Распоряжение Правительства РФ от 21.12.2019 № 3120-р (ред. от 29.04.2021) «Об утверждении Плана развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года».

отечественного судостроения объясняется, что крупносерийного строительства судов практически нет. Осуществляя строительство в основном головных судов, наши верфи, как правило, mnoжат убытки, что не позволяет наращивать мощности. Отмечается, что в настоящее время более стабильно и уверенно работают в основном отечественные верфи, которые строят большие серии речного флота и суда смешанного плавания.

Объективной необходимостью для процесса проектирования и строительства ПЭБ становится поиск путей повышения технологичности корпусных конструкций, возможность повышения их качества, что косвенно может повлиять на снижение затрат [5]. Большинство технологической документации применяется при изготовлении секций корпусных конструкций для корпусосборочного и стапельного производств. В связи с намеченными тенденциями к увеличению количества ПЭБ предлагается систематизировать организационные и технические мероприятия в виде обеспечения технологичности строительства судна. Таким образом, основные направления организационно — технологической подготовки производства состоят в следующем:

- графике постройки и разработка оперативно-календарных планов запуска производства;
- конструкторско-технологической подготовке производства к строительству;
- анализе технологичности конструкций и оборудования;
- определении критерия качественной оценки производственного процесса;
- разработке технологических процессов нестандартного оборудования и оснастки;
- определении потребности в материально-технических ресурсах.

Технологическая последовательность постройки ПЭБ осуществляется в соответствии с «Укрупненным графиком проектирования и постройки». Для постройки ПЭБ оптимальным является блочно-секционный метод, который позволяет параллельно изготавливать секции с последующим укрупнением в блоки в условиях цеха. Для снижения трудоемкости корпусных работ при постройке ПЭБ и переноса большей части работ в крытые цеха формирование корпуса предпочтительно выполнять пирамидальным способом с предварительной погрузкой крупногабаритного оборудования, начиная в районе миделя, и далее выполняя сборку секций в сторону носа и кормы.

В этой связи целью данного исследования является проведение анализа организационно-технологических мероприятий в процессе строительства ПЭБ. При разработке основных положений исследования использован опыт постройки ПЭБ «Академик Ломоносов», а также ПЭБ находящейся в настоящее время на стадии строительства с применением метода *распределенной верфи*. Продолжением данного исследования являются результаты [6], предложенные в виде многоуровневой системы обеспечения надежности судовых механических систем на этапах жизненного цикла, которые включают управление надежностью, изучение остаточного ресурса и проведение оценки рисков.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Строительство и эксплуатация ПЭБ предполагает значительную технологическую проработку [7] на всех этапах проектирования и производства, включая оценку рисков по вариантам компоновки. Наиболее приемлемым является вариант ПЭБ, отвечающий перспективным по технологическим и экономическим характеристикам корпуса [8] с учетом применения стандартных и безопасных конструктивных решений реактора.

Судовые корпусные конструкции называют *технологичными*, если в полной мере можно использовать для изготовления наиболее экономичный технический процесс, сократить длительность технологической подготовки, повысить качество изготовления, снизить трудоемкость, уменьшить количество брака, повысить правильность проектных решений. Необходимо также учитывать возможную технологию сборки и сварки корпусных конструкций [9].



Рис. 1. Внешний вид плавучего энергоблока «Академик Ломоносов»
(https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-pates/)

Строительство ПЭБ представляет собой основные организационно-технологические мероприятия по реализации размещения производства. Планирование строительства предпочтительно проводить позиционным способом с выполнением определенных групп технологических операций (табл. 1). В данном исследовании для постройки ПЭБ было рассмотрено порядка десяти различных технологических позиций.

Таблица 1

Технологические позиции производства при строительстве ПЭБ

Технологические позиции производства	Основные технологические операции при постройке
Позиция № 1 — плаз завода-строителя, технологические службы	1. Получение и формирование плазовых работ по корпусу. 2. Выполнение технологической подготовки производства.
Позиция № 2 — складское хозяйство	1. Получение заказанных материалов и оборудования. 2. Выполнение операций по входному контролю материалов.
Позиция № 3 — корпусообрабатывающее производство	1. Предварительная обработка металла. 2. Изготовление деталей корпуса.
Позиция № 4 — корпусно-сварочное производство	1. Выполнение сборки и сварки узлов деталей корпуса. 2. Изготовление (сборка и сварка) секций корпуса.
Позиция № 5 — стапельно-сдаточное производство	1. Формирование носового, кормового, среднего блоков секций. 2. Формирование корпуса ПЭБ из блоков секций. 3. Вывод ПЭБ к достроечной набережной.
Позиция № 5 — судомонтажное производство	1. Монтаж части механизмов и оборудования.
Позиция № 6 — стендовый участок	1. Получение новых тепловыделяющих сборок (НТВС). 2. Подготовка НТВС.
Позиция № 7 — производство специальной энергетики	1. Изготовление баков МВЗ. 2. Изготовление секций ЗО с бетоном. 3. Сборка парогенерирующего блока.
Позиция № 8 — достроечная набережная	1. Выполнение монтажных и достроечных работ, не выполненных на предыдущих позициях. 2. Испытания защитных оболочек (ЗО) на прочность и герметичность. 3. Проведение швартовных испытаний.

Развитие организационно-технических мероприятий в виде программ управления технологичностью строительства судна позволит осуществлять оценку проектных решений с учетом технологии постройки, сборки корпусных конструкций, монтажа механических систем и проведения приемо-сдаточных испытаний в построечный период.

Результаты (Results)

Для устранения дублирования требований общего характера в целях унификации выполнения технологических позиций производства предлагается разработать общие технические требования (ОТТ), предъявляемые к изготовлению, материалам, контролю качества и испытаниям конструкций корпуса и надстройки, конструкций ЗО, баков металловодной защиты, дельных вещей; монтажу механизмов и трубопроводов судовых механических систем.

На рис. 2 показано существующее представление о нарастании технологической готовности строительства ПЭБ по технологическим позициям производства завода-строителя. Однако на практике каждый из технологических этапов строительства может иметь отклонение по структуре продолжительности на основе двух сценариев: *оптимистичного*, наиболее вероятного, и *пессимистичного*, который рассчитывается на основе набора вероятностей. Такой подход уже не будет являться дискретным, он определяется на основании вероятностных сценариев производства (наиболее близким методом расчетной оценки является так называемый PERT/COST) [10].

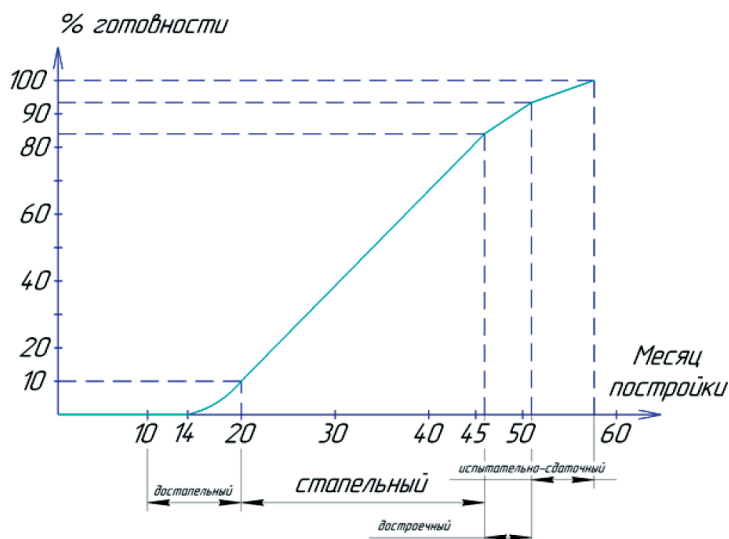


Рис. 2. График нарастания технологической готовности

При разработке конструкторской документации проектант стремится создать конструкции, обладающие прочностью и надежностью в эксплуатации, однако по разным причинам недостаточное внимание уделяется вопросам технологичности конструкций (например, неверно подобраны узлы сварных соединений, не сохраняется доступность мест для монтажа и т. п.).

Секции корпуса и надстройки представляют собой технологическую единицу для сборки блока секций, которые предпочтительно проводить исходя из сокращения сроков и трудоемкости постройки, перенесения основного объема работ в цеховые условия, возможностей грузоподъемного и транспортного оборудования завода-строителя. Для снижения количества монтажных сварных соединений предпочтительно применять листовой прокат, исходя из длины 12 м, с учетом припусков на разделку. В случае конструктивной целесообразности применять листовой прокат, исходя из длины 8 м.

На этапе технического проекта предлагается расчет масс секций выполнять методом удельных показателей, при котором масса корпусных конструкций соответствует «Нагрузке масс и положения центра тяжести судна порожнем». Распределение масс корпусных конструкций по секциям опреде-

ляется путем отношения усредненной массы 1 м² корпусной конструкции к площади конструкции рассчитываемой секции. Точную массу определять на этапе выпуска рабочих чертежах секций.

Согласно п. 1.7.4.4, ч. II «Правил классификации и постройки морских судов»³ (далее — Правила) сварные стыки и пазы должны располагаться в наименее напряженных сечениях конструкции, по возможности на расстоянии не менее 200 мм от мест сечения рамных связей, вырезов и мест линий слома палуб. Согласно п. 1.4.8.3, ч. II Правил допускается попадание монтажных стыков и пазов в радиус скругления выреза, не превышающих размер 2,5 × 1,2 м. В таком случае вырез предлагается вскрывать на построечном месте. Однако в случае, обусловленном конструктивной особенностью попадания сварных соединений на линии вырезов, не относящемся к расчетной палубе и реакторному отсеку, предлагается для минимизации концентраций внутренних напряжений предусматривать припуск исходя из выражения $R1 = R2 - 100$ мм для выполнения скругления выреза (рис. 3). После этого «забойный» участок радиуса R1 можно убрать механическим способом.

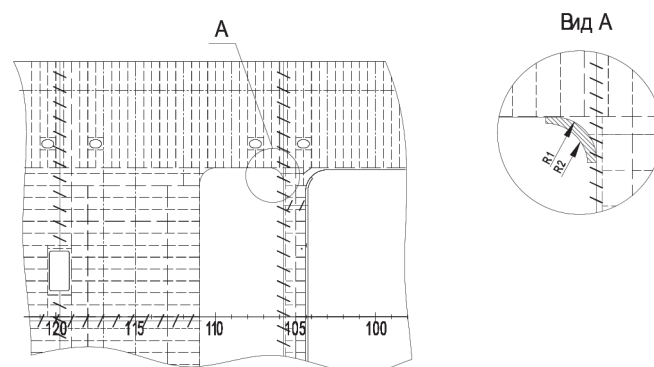


Рис. 3. Припуск для выполнения скругления выреза в составе секции

На этапе проектирования при разработке общего расположения судна предлагается ввести понятие *малые вырезы* с габаритами 2,5 × 1,2 м или менее и устанавливать на расстоянии не менее чем 0,4 м от главных продольных переборок. Большие вырезы (более 2,5 × 1,2 м) необходимо выполнять на расстоянии не менее чем 1 м от основных поперечных переборок (рис. 4). Для обеспечения технологичности сборки секций не следует расстыковывать сварными стыками места в районе между большими вырезами.

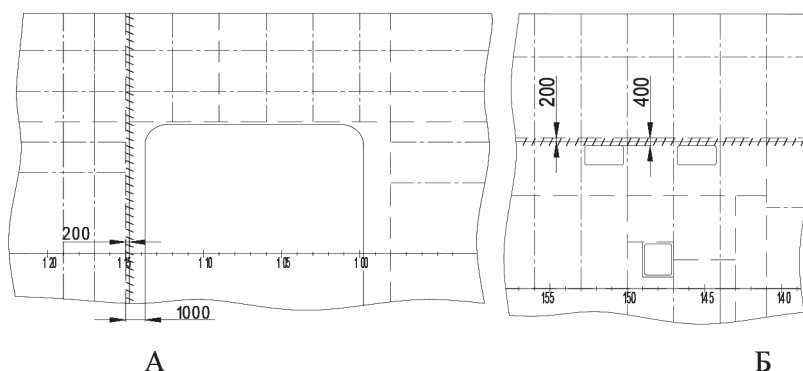


Рис. 4. Расположение вырезов в составе секции

Для унификации проектирования и строительства типовых деталей и узлов элементов корпуса необходимо разрабатывать альбомы типовых корпусных конструкций. Размеры этих элемен-

³ Правила классификации и постройки морских судов. Часть II: «Корпус». НД № 2–020101–174. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=F7B044E5-3A62-40E1-BDFF-03A6573D2BD3&f=2-020101-174-2>.

тов даны без учета припусков и зазоров под сварку. Правила выполнения таких альбомов типовых конструкций в судостроении изложены в отраслевых стандартах. Необходимо создание национальных стандартов для оформления конструкторской документации в едином стиле для определения параметров и особенности узлов конструкций.

Процесс сварки можно разделить на следующие составляющие: геометрия сварного шва, сварочные материалы, технология сварки, контроль сварных соединений. При разработке чертежей для сборки и сварки конструкций предпочтительно разрабатывать следующие альбомы сварных соединений конструкций: углеродистые и низколегированные стали, стали высокой прочности, коррозионно-стойкой стали. Предлагается отображать в альбомах геометрию сварных узлов, рассматривать сварочные материалы, ограничивать сварные узлы, необходимые для завода-строителя. Технологию сварки ведет завод-строитель, который разрабатывает технологические карты и согласовывает их с Российским морским регистром судоходства (РС). Для оценки работоспособности сварного соединения проводятся исследования совместно с специализированной металлургической организацией.

Необходимо отметить, что категория сварных швов зависит от ответственности конструкций для назначения объема контроля. Сварные швы с полным проваром назначаются в зависимости от прочности конструкций, установленной для проведения работ в условиях циклической нагрузки. Непровары сварных швов влияют на статические нагрузки за счет ослабления сечения. Усиление сварного шва проводится для получения равной прочности с основным металлом, однако увеличенное усиление может приводить к риску трещин из-за концентрации напряжений.

В процессе изготовления секций проводятся операции контроля, обеспечивающие проверку геометрических параметров металлоконструкций и качество выполнения сварки на всех стадиях изготовления конструкций. Контроль геометрических параметров осуществляется с применением различного измерительного инструмента. Для выполнения контроля сварных соединений применяется специальное переносное технологическое оборудование, обеспечивающее рентгенографирование, ультразвуковой и магнитопорошковый контроль. Результаты контроля, выполненного на стадиях предварительной и объемной сборки, фиксируются в таблицах замеров и учитываются на последующих этапах изготовления корпуса.

В соответствии с последней редакцией ст. 35 Федерального закона № 162-ФЗ «О стандартизации Российской Федерации», с 1 сентября 2025 г. отраслевые стандарты утратили силу как нормативные документы по стандартизации, что требует разработки государственных, национальных или корпоративных стандартов. В соответствии с этим объем проведения контроля сварных соединений корпусных конструкций и количество контролируемых участков предлагается проводить по новым национальным стандартам, приведенным в табл. 2. В этой связи проведены исследования для изучения контроля для сварных соединений корпусных конструкций: визуальный и измерительный контроль для выявления поверхностных дефектов шва: рентгенографический — для выявления внутренних непроваров; ультразвуковой — для выявления внутренних трещин; капиллярный — для выявления поверхностных несплошностей.

Таблица 2

Неразрушающий контроль сварных соединений

Метод контроля	Объем контроля по нормативному документу, утративший силу	Объем контроля предлагаемый национальный стандарт	Предмет контроля
Визуальный и измерительный	ОСТ 5P.1093–93 100 %	ГОСТ Р ИСО 17637–2014 100 %	Углеродистые и низколегированные стали нормальной прочности, высокой прочности
Визуальный и измерительный	ОСТ 5P.9634–2015 100 %	ГОСТ Р 59023–2020 100 %	Коррозионно-стойкие стали

Таблица 2
(Окончание)

Рентгенографический и ультразвуковой	ОСТ 5P.1093 I категория — 20 % (30 %)* II категория — 5 % (10 %)* III категория — 2 % (5 %)*	ГОСТ Р ИСО 17636–2017, ГОСТ Р ИСО 17640–2016: уровни качества В, С, D согласно ГОСТу Р ИСО 5817–2025	Углеродистые и низколегированные стали нормальной прочности (высокой прочности)*
Рентгенографический и ультразвуковой	ОСТ 5P.9634–2015 I и II категории –100 %; стыковые, тавровые 20 % III категория — не производится	Требуется разработка национального стандарта	Коррозионно-стойкие стали
Капиллярный	ОСТ 5P.1093–93	ГОСТ Р ИСО 3452–2009	Углеродистые и низколегированные стали нормальной прочности, высокой прочности
Капиллярный	ОСТ 5P.9634–2015	Требуется разработка национального стандарта	Углеродистые и низколегированные стали нормальной прочности, высокой прочности

С целью систематизации сведений испытаний трубопроводов, изготовленных из углеродистой стали по параметрам проводимой среды, герметичности, контроля сварных соединений, в табл. 3 показан общий вид данных для приемки и проверок трубопроводов. Из таблицы видно, что применяемые методы могут существенно отличаться и не иметь понятной связи с методами неразрушающего контроля, их перспективная унификация возможна в рамках программы национальной стандартизации путем разработки новых ГОСТов Р.

Таблица 3

Контроль сварных соединений трубопроводов

Проводимая среда, по правилам РС (ч. VIII, разд. 1.3)	Испытания сварных соединений на герметичность по ОСТ 5.0170–81	Доступный способ контроля, МПа, по ОСТ 5.0170–81	
Трубопроводы I класса $p > 1,6$ МПа или $t > 300^{\circ}\text{C}$	III класс герметичности	$> 0,1$ МПа, люминесцентный капиллярный	$> 3,0$ МПа люминесцентно-гидравлический
Трубопроводы II класса, не указанное для I и III классов	IV класс герметичности	$0,1$ МПа, люминесцентный капиллярный	$> 2,0$ МПа люминесцентно-гидравлический
Трубопроводы III класса $p < 0,7$ МПа или $t > 200^{\circ}\text{C}$	V класс герметичности	$< 0,1$ МПа, цветной капиллярный	$0,2–2,0$ МПа, гидравлический

При судомонтажном производстве трудоемкой операцией является повышенный объем пригоночных и разметочных работ, которые требуют совершенствования с применением цифровых измерительных средств. Кроме того, предлагается разработка перечня крупногабаритного оборудования и схемы транспортировки, для которых потребуется производить вырезы в корпусных конструкциях.

В соответствии с разд. 3.3, ч. VIII Правил допускаются применение трубопроводов из пластмасс в зависимости от местоположения, проводимых сред и огнестойкости. Внедрение таких видов материалов находят отражение в коммерческом судостроении и военных малых кораблей. Однако при проектировании атомных судов такие решения не находят развития по разным причинам. В принципе, если выполнить требования к морозостойкости, температурной и химической стойкости, низкой горючести, экологии, запасу прочности, то можно применять пластиковые трубы внутри судна для механических систем водоснабжения, отопления, кондиционирования, сжатого воздуха, балластной, сточной и других подобных системах. Кроме того, снижается весовая нагрузка на судно, пластик не подвергается коррозии, не требуется покраска, обеспечивается удобство монтажа, что косвенно снижает затраты строительства судна.

В соответствии с п. 2.4.2.1.1, ч. II «Правил технического наблюдения за судами в эксплуатации»⁴ в течение пяти лет требуется проводить не менее двух освидетельствований подводной части судна. Для защиты поверхностей подводной части корпусных конструкций от внешних воздействий (воды, коррозии, температур, вредных веществ) в настоящее время используют лакокрасочные покрытия, которые удовлетворяют условиям эксплуатации и обеспечиваются восстановлением в междоковый период не менее 10 лет. В этой связи предлагается совмещать докование, освидетельствование подводной части судна и лакокрасочных покрытий с продлением до 10 лет.

На рис. 5 приведена принципиальная схема реакторного отсека атомного судна. В составе корпуса предусмотрены две защитные оболочки (ЗО), представляющие собой выгородки прочно-герметичного контура для экологической безопасности, внутри которых размещено оборудование реакторной установки. Нижняя часть ЗО является опорной поверхностью для бака металловодной защиты, который представляет собой герметичную коробчатую конструкцию с цилиндрическими кессонами и патрубками подвода-отвода охлаждающей среды. Так же реакторный отсек локализуется защитным ограждением (з.ог) для дополнительного ограничения утечки радиоактивных веществ в другие части судна и в окружающую среду, выполненные герметичными конструкциями.

Научные исследования испытаний замкнутых контуров проводят отраслевые организации, в части прочности — ФГУП «КГНЦ», герметичности — АО «ЦТСС», на основе которых проектант судна разрабатывает методики испытаний. Кроме того, в работе [11] предлагается ряд способов повышения чувствительности контроля относительно скорости утечки, анализ математических моделей традиционных способов контроля, автоматизация технологии испытаний ЗО атомных объектов морской техники.

Тем не менее недостаточно уделяется значениям в оценке организационно-технологических мероприятий последовательности данных испытаний. В частности, согласно п. 3.2.10, ч. III «Правил классификации и постройки атомных судов» испытания ЗО на прочность могут совмещаться с испытанием на герметичность при доведении рабочих давлений проводимые воздухом. Однако по опыту прошлых проектов атомных судов завод-строитель по ряду причин не успевает собрать все элементы механических систем, и проводятся отдельные испытания на прочность и герметичность. Такой способ влечет повторяющиеся технологические операции по подготовке объемов, разработки отдельных методик и согласований их с заинтересованными участниками организаций, что косвенно влияет на увеличения сроков постройки судна.

Кроме того для з.ог предъявляются нормы герметичности в объеме обычных требований к судовым помещениям. Испытания на герметичность контуров производятся на основании схемы испытаний корпуса на водонепроницаемость. В настоящее время проводят испытания для каждого помещения, соприкасающегося со стенкой з.ог. Отчасти такой подход позволяет последовательно вести формирование помещений и одновременно проводить их испытания. Однако такой способ влечет за собой повторяющиеся технологические операции по подготовке нескольких десятков помещений

⁴ Правила технического наблюдения за судами в эксплуатации (часть II) / НД № 2–020201–031. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=757AFA04-61BF-464F-94F6-E800A717F552&f=2-020201-031>.

в составе з.ог. В принципе, проводить испытание одновременно всего отсека можно для снижения времени и затрат даже в случае разделения объемов испытаний по отдельным палубам с заглушением проходов тамбуров, участков каналов вентиляции и подобных замкнутых конструкций.

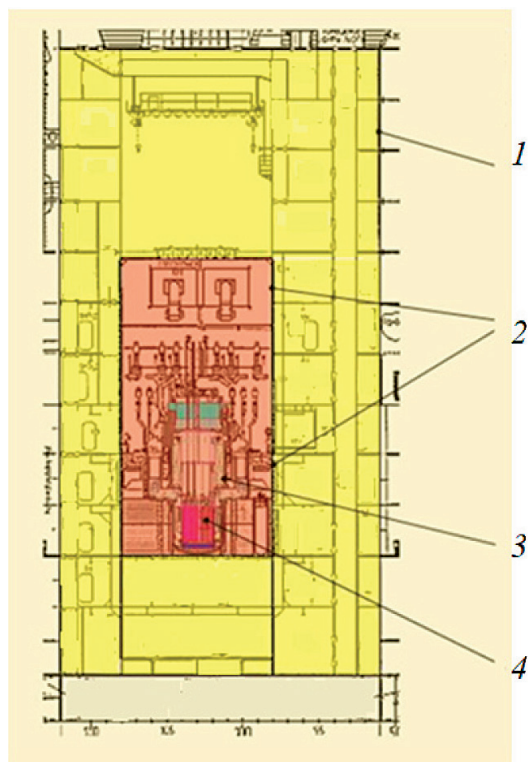


Рис. 5. Принципиальная схема физических барьеров обезличенного реакторного отсека атомного судна (из материалов АО «ЦКБ «Айсберг»:
1 — защитное ограждение — водогазонепроницаемая корпусная конструкция, препятствующая распространению радиоактивных веществ в помещения судна и окружающую среду;
2 — защитная оболочка — водогазонепроницаемая корпусная конструкция, препятствующая распространению за ее пределы РВ и парогазовой смеси;
3 — корпус реактора, препятствующий распространению РВ при разгерметизации ТВЭЛ;
4 — оболочка ТВЭЛ, препятствующая попаданию продуктов деления топлива

По объективным причинам необходимо совершенствовать управление проектами в судостроительном производстве с внесением дополнений в сетевые графики о готовности строительства судна. Первым шагом в этом направлении предлагается определение организационно-технических мероприятий в виде выпуска программы управления технологичностью строительства судна, общий вид которой приведен в табл. 4.

Таблица 4

**Предлагаемые организационно-технические мероприятия
программы управления технологичностью**

Технические мероприятия по управлению технологичностью	Нормативные и организационно-методические документы	Конструкторско-технологические документы
Техническое обеспечение строительства	ОСТ 5Р.0718–2003 «Техническое обеспечение строящихся, ремонтируемых и переоборудуемых судов»	Технологическое обеспечение средами ТОС
Технология постройки	РД 5.0381 «Принципиальная технология и организация постройки кораблей и судов»	Проектная технология и организация постройки

Таблица 4
(Окончание)

Технические требования к технологическим документам	РД 5Р.0378–92 «Технологические документы судостроительной верфи»	ОТТ в области технологии и организации судостроительного производства
Технические требования к конструкторским документам	ГОСТ 23888–79 – ГОСТ 23897–79 «Рабочие конструкторские документы судостроительной верфи. Основные требования»	ОТТ к конструкциям корпуса и надстройки; конструкций ЗО и баков МВЗ; дельные вещи; монтаж механизмов; трубопроводов механических систем.
Разбивка судна на построечные единицы	НД 2–020101–174 «Правила классификации и постройки морских судов», часть II, изд. 2025; ОСТ 5Р.9613 «Технические требования к проверочным работам при изготовлении на построечном месте»	Схема разбивки корпуса и надстройки на построечные единицы
Приемо-сдаточные испытания в построечный период	НД 2–030101–033 «Руководство по техническому наблюдению за постройкой судов», изд. 2019	Перечень удостоверений приемок и проверок в построечный период
Унификация корпусных конструкций	РД 5.036–85 «Система унификации в судостроении. Порядок разработки альбомов типовых конструкций»	Рабочий альбом типовых корпусных конструкций
Сварка и сборка корпусных конструкций	ГОСТ 5264–80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»	Альбом сварных соединений конструкций корпусных конструкций: углеродистых и низколегированных сталей; стали высокой прочности; коррозионно-стойкой стали
Контроль сварных соединений	НД 2–020101–174 «Правила классификации и постройки морских судов», часть XIV, изд. 2025	Схема контроля монтажных сварных соединений корпусных конструкций; ведомость контроля внутрисекционных сварных соединений
Погрузка-выгрузка крупногабаритного оборудования	ОСТ 5Р.0737–2001 «Проектные конструкторские документы для судов. Правила выполнения, согласования (одобрения) и утверждения»	Схемой технологических вырезов для погрузки-выгрузки крупногабаритного оборудования
Испытания на прочность и герметичность ЗО	НД 2–020101–169 «Правила классификации и постройки атомных судов», часть IV, изд. 2025.	Методика проведения испытания на прочность и герметичность ЗО
Испытания на герметичность з.ог.	ОСТ 5Р.1180–93 «Методы и нормы испытаний на непроницаемость и герметичность»	Схема герметичных контуров. Таблица испытаний
Защитные лакокрасочные покрытия	ОСТ 5Р.9566–94 «Покрyтия лакокрасочные. Типовые технологические процессы окрашивания судов»	Ведомость окраски наружных и внутренних поверхностей судна; технологический процесс выполнения малярных работ при строительстве судна

Обсуждение (Discussion)

На основе опыта имеющихся проектов строительства судов для Арктики, на российских верфях наблюдается увеличение сроков их постройки, перенос сдачи в эксплуатацию, что оказывает косвенное влияние на стоимость постройки. Преодоление этой проблемы связано с необходимостью проведения организационно-технических мероприятий для повышения технологичности строительства судов на всех этапах жизненного цикла. Данные задачи относятся не только к технологии производства корпуса, но и к энергетическим установкам судна [12], их механическим системам и движителям (пропульсивным комплексам); сохраняется задача снижения экологической нагрузки [13], так называемого *углеродного следа* от новых судов. Для новых судов, эксплуатация которых предполагается в полярных водах (Северный морской путь), важной задачей является повышение общей надежности [14], уточнение, в том числе классификационное, мощности судов высокого ледового класса [15] и реализация задач развития судоремонта [16].

Заключение (Conclusion)

Выполненное исследование вносит дополнения в теоретические основы технологии строительства судов различного назначения. Получены достаточно точные зависимости и определены организационно-технологические мероприятия постройки судна. Предложенные на основе результатов данного исследования меры не являются исчерпывающими.

Полученные зависимости позволяют сделать следующие основные выводы:

- совершенствование организационно-технологических мероприятий должно становиться постоянным процессом для производственной деятельности постройки ПЭБ, может дополняться при изменяемых условиях над новыми проектами судов.
- рассмотренные в работе принципы технологичности могут служить универсальным подходом при поиске путей повышения эффективности строительство ПЭБ.
- оптимизация предлагаемых технологических документов рассматривается для применения возможного планирования, объединить на единой программной платформе процесс этапов проектирования и строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев Д. Л. АО «ОКБМ Африкантов» — научно-производственный центр атомного машиностроения. 75 лет в атомной отрасли / Д. Л. Зверев, В. В. Петрунин, С. В. Бабушкин [и др.] // Атомная энергия. — 2020. — Т. 129. — № 1. — С. 3–13. — EDN AIJYQE.
2. Саркисов А. А. Перспективы использования атомных энергетических технологий в Арктике / А. А. Саркисов, Д. О. Смоленцев, С. В. Антипов [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12. — № 3. — С. 349–358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358. — EDN CENAAX.
3. Александров М. В. К вопросу инновационного развития судостроения Российской Федерации / М. В. Александров, Ю. М. Габдрафиков, В. Н. Половинкин [и др.] // Судостроение. — 2023. — № 3(868). — С. 3–11. — EDN KUOXOG.
4. Савченко О. В. Современное состояние, проблемы и перспективы развития отечественного гражданского судостроения / О. В. Савченко, В. Н. Половинкин // Судостроение. — 2022. — № 3(862). — С. 3–10. — EDN OWXJLN.
5. Лисицкий В. В. Перспективы внедрения новейших технологий на предприятиях АО «Южный центр судостроения и судоремонта» / В. В. Лисицкий, А. А. Васильев, К. Д. Могилко [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2023. — № 2. — С. 41–46. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-41-46. — EDN MVQSIP.
6. Мосейко Е. С. Многоуровневая система обеспечения надежности судовых механических систем на этапах жизненного цикла / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик, В. Ю. Рудь // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 5. — С. 775–783. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783. — EDN FFKEEK.
7. Jurewicz J. M. Design and construction of an offshore floating nuclear power plant. — Massachusetts Institute of Technology, 2015. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/103707> (дата обращения: 12.12.2025).

8. *J. Buongiorno* The Offshore Floating Nuclear Plant Concept / J. Buongiorno, J. Jurewicz, M. Golay, N. Todreas // *Nuclear Technology*. — 2016. — Т. 194. — № 1. — С. 1–14. DOI: 10.13182/NT15-49.
9. *Лебедева Е. Г.* Обеспечение технологичности судовых корпусных конструкций при создании электронной модели / Е. Г. Лебедева, А. А. Сомпольцева // *Морские интеллектуальные технологии*. — 2020. — № 3–1(49). — С. 102–109. DOI: 10.37220/MIT.2020.49.3.013. — EDN WSSUKO.
10. *Wei N.-C.* Earned value management views on improving performance of engineering project management. / N.-C. Wei, C.-P. Bao, S.-Y. Yao, P.-S. Wang // *International Journal of Organizational Innovation*. — 2016. — Vol. 8. — Is. 4.
11. *Веселков В. В.* Принципы реализации и развития технологии автоматизированного изготовления корпусных конструкций / В. В. Веселков, М. А. Кобец // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 1(29). — С. 82–89. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-82-89. — EDN TKJMXL.
12. *Гулый В. А.* Некоторые предложения по совершенствованию системы парораспределения главного турбоагрегата атомного ледокола проекта 22220 / В. А. Гулый, В. В. Кондратьев // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2025. — № 79. — С. 137–147. — EDN WRURVX.
13. *Реуцкий А. С.* Оценка влияния типа используемого судового топлива на величину углеродного следа транспортной услуги / А. С. Реуцкий, В. В. Якимов, А. А. Буцанец // *Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства*. — 2024. — № 76. — С. 87–95. — EDN ICJSDQ.
14. *Мосейко Е. С.* Применение структурных методов для оценки надежности судовых механических систем / Е. С. Мосейко, Е. О. Ольховик, В. Г. Никифоров // *Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2023. — Т. 15. — № 5. — С. 834–844. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-834-844. — EDN NBOOCB.
15. *Добродеев А. А.* Какой должна быть мощность крупнотоннажного судна для работы в восточном секторе Арктики? / А. А. Добродеев, К. Е. Сазонов // *Арктика: экология и экономика*. — 2024. — Т. 14. — № 3(55). — С. 427–436. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-427-436. — EDN FFIOOH.
16. *Рогов А. З.* Перспективы развития судоремонта на Дальнем Востоке / А. З. Рогов, С. А. Огай, А. С. Огай // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. — 2025. — № 1(62). — С. 89–104. DOI: 10.24866/2227-6858/2025-1/89-104. — EDN EGMTGF.

REFERENCES

1. Zverev, D. L., V. V. Petrunin, S. V. Babushkin et al. “JSC “Afrikantov Okbm” — scientific and manufacturing center of nuclear engineering. 75 years of working in nuclear industry.” *Atomic Energy* 129.1 (2020): 3–13.
2. Sarkisov, A. A., D. O. Smolentsev, S. V. Antipov et al. “Prospects of using nuclear power technologies in the arctic.” *Arctic: Ecology and Economy* 12.3 (2022): 349–358. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-3-349-358.
3. Aleksandrov, M. V., Yu. M. Gabdrifkov, V. N. Polovinkin et al. “Regarding innovative development of shipbuilding in the Russian Federation.” *Shipbuilding* 3(868) (2023): 3–11.
4. Savchenko, O. V. and V. N. Polovinkin. “Current state, problems and prospects for development of domestic ship building industry.” *Shipbuilding* 3(862) (2022): 3–10.
5. Lisitskiy, V. V., A. A. Vasil’ev, K. D. Mogilko et al. “Prospects for introducing advanced technologies at enterprises of southern center of shipbuilding and ship repair, JSC.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2023): 41–46. DOI: 10.24143/2073-1574-2023-2-41-46.
6. Moseyko, E. S., E. O. Ol’khovik and V. Yu. Rud’. “A multi-level system for ensuring the reliability of marine mechanical systems at the stages of the life cycle.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.5 (2024): 775–783. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-775-783.
7. Jurewicz J. M. Design and construction of an offshore floating nuclear power plant. — Massachusetts Institute of Technology, 2015. Web. December 12, 2025 < <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/103707> >.
8. Buongiorno, J., J. Jurewicz, M. Golay and N. Todreas. “The Offshore Floating Nuclear Plant Concept.” *Nuclear Technology* 194.1 (2016): 1–14. DOI: 10.13182/NT15-49.
9. Lebedeva, E. G. and A. A. Sompol’tseva. “Ensuring the technological capability of ship hull structures when creating an electronic model.” *Marine Intelligent Technologies* 3–1(49) (2020): 102–109. DOI: 10.37220/MIT.2020.49.3.013.
10. Wei, N.-C., C.-P. Bao, S.-Y. Yao and P.-S. Wang. “Earned value management views on improving performance of engineering project management.” *International Journal of Organizational Innovation* 8.4 (2016).

11. Veselkov, V. V. and M. A. Kobets. "Printsiipy realizatsii i razvitiya tekhnologii avtomatizirovannogo izgotovleniya korpusnykh konstruksiy." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 1(29) (2015): 82–89. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-1-82-89.

12. Gulyy, V. A. and V. V. Kondrat'ev. "Some suggestions for improving the steam distribution system of the main turbine unit of the nuclear icebreaker project 22220." *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping* 79 (2025): 137–147.

13. Reutskiy, A. S., V. V. Yakimov and A. A. Butsanets. "Assessment of the impact of the type of marine fuel used on the carbon footprint of the transport service." *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping* 76 (2024): 87–95.

14. Moseyko, E. S., E. O. Ol'khovik and V. G. Nikiforov. "Application of structural methods to assess the reliability of ship's mechanical systems." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.5 (2023): 834–844. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-5-834-844.

15. Dobrodeev, A. A. and K. E. Sazonov. "What should be the power capacity of a supership to operate in the eastern part of the arctic?" *Arctic: Ecology and Economy* 14.3(55) (2024): 427–436. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-427-436.

16. Rogov, A. Z., S. A. Ogay and A. S. Ogay. "Prospects for the development of ship repair in the far east." *Fefu: School of Engineering Bulletin* 1(62) (2025): 89–104. DOI: 10.24866/2227-6858/2025-1/89-104.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мосейко Евгений Сергеевич —
инженер-технолог отдела технологии,
экономики производства,
нормирования материалов
АО «Центральное конструкторское бюро
«Айсберг»
199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Большой пр., 36
e-mail: evgeniy-moseyko@mail.ru
Ольховик Евгений Олегович —
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Moseyko, Evgeniy S. —
Process Engineer
of the Department of Technology,
Industrial Economy
and Materials Rationing
"Iceberg" Central Design Bureau
36 Bol'shoi Ave., St. Petersburg,
199034, Russian Federation
e-mail: evgeniy-moseyko@mail.ru
Olhovik, Evgeniy O. —
Grand PhD in Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: olhovikeo@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2025 г.

Received: Nov. 19, 2025