

Научная статья
УДК 629.5.083.5(571.6)
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-59-68>
EDN MPKMEZ

Создание зон микроклимата при доковом ремонте судов ледового класса на судоремонтных мощностях Дальнего Востока

Александр Захарович Рогов[✉], Сергей Алексеевич Огай

*Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Россия, RogovAZ@msun.ru[✉]*

Аннотация. В условиях технологического суверенитета с появлением инновационных судов снабжения ледового класса, работающих на шельфе дальневосточных морей и в арктическом регионе, возникает острая необходимость осуществлять их доковый ремонт на отечественных судоремонтных предприятиях Дальнего Востока. Вместе с тем климатические условия судоремонтных предприятий Дальнего Востока не позволяют обеспечить качественное нанесение ледостойких лакокрасочных покрытий на корпуса ремонтируемых судов ледового класса, затрудняют выполнять круглогодично другие операции докового ремонта. Обеспечить круглогодичный доковый ремонт можно по крайней мере двумя способами: созданием крытых доков и эллингов либо организацией зон микроклимата у корпусов судов в плавучих или открытых сухих доках. Пневмопанели, изготовленные по технологии drop stitch, позволяют создать эффективные конструкции доковых локальных укрытий, которые имеют хорошие теплоизолирующие качества, легко возводятся и имеют высокую несущую способность. На примере модельного локального укрытия зоны у борта судна снабжения выполнена оценка энергозатрат для создания необходимой температуры у борта судна при нанесении эпоксидного ледостойкого покрытия типа Inerta 160 с учетом теплоизолирующих качеств укрытия из пневмопанелей при условной внешней температуре, соответствующей зимним условиям докования. Задача теплового баланса поставлена для установившегося режима нагрева пространства под укрытием нагнетаемым нагретым воздухом. Также выполнена оценка несущей способности укрытия из пневмопанелей, обеспеченная только избыточным давлением в панелях. Результаты подтверждают возможность создания локальных доковых укрытий для создания зон микроклимата на основе пневмопанельных конструкций.

Ключевые слова: доковый ремонт, ледостойкие лакокрасочные покрытия, суда обеспечения ледового класса, микроклимат в плавучих и сухих доках, пневмопанельные конструкции

Для цитирования: Рогов А. З., Огай С. А. Создание зон микроклимата при доковом ремонте судов ледового класса на судоремонтных мощностях Дальнего Востока // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 2. С. 59–68. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-59-68>. EDN MPKMEZ.

Original article

Creation of microclimate zones during dock repair of ice-class vessels at ship repair facilities in the Far East

Alexander Z. Rogov[✉], Sergey A. Ogay

*Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russia, RogovAZ@msun.ru[✉]*

Abstract. In the context of technological sovereignty, with the emergence of innovative ice-class supply vessels operating on the shelf of the Far Eastern seas and in the Arctic region, there is an urgent need to carry out dock repairs at domestic ship repair enterprises in the Far East. At the same time, the climatic conditions of ship repair enterprises in the Far East do not allow for high-quality application of ice-resistant paint coatings on the hulls of ice-class vessels under repair, and make it difficult to perform other dock repair operations year-round. Year-round dock repairs can be provided in at least two ways: by creating covered docks and slipways, or by organizing microclimate zones near the hulls of ships in floating or open dry docks. Pneumatic panels made using drop-stitch technology make it possible to

create effective structures of dock local shelters that have good thermal insulation qualities, are easy to erect and have a high bearing capacity. On the example of a model local shelter of the area at the side of the supply vessel, an assessment of energy consumption was carried out to create the necessary temperature at the side of the vessel when applying an epoxy ice-resistant coating of the Inert 160 type, taking into account the heat-insulating qualities of a shelter made of pneumatic panels at a conditional external temperature corresponding to winter docking conditions. The task of heat balance is set for the steady mode of heating the space under the shelter with the injected heated air. The load-bearing capacity of the pneumatic panel shelter was also assessed, provided only by excess pressure in the panels. The results confirm the possibility of creating local dock shelters to create microclimate zones based on pneumatic panel structures.

Keywords: dock repair, ice-resistant paint coatings, ice-class support vessels, microclimate in floating and dry docks, pneumatic panel structures

For citation: Rogov A. Z., Ogay S. A. Creation of microclimate zones during dock repair of ice-class vessels at ship repair facilities in the Far East. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;2:59-68. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-2-59-68>. EDN MPKMEZ.

Введение

Судоремонтными предприятиями Дальнего Востока еще в советское время был накоплен опыт круглогодичных доковых ремонтов. На Совгаванском судоремонтном заводе для качественного нанесения на подводную часть корпусов паромов «Сахалин» ледостойких покрытий в условиях низких температур и повышенной влажности в любое время года было изготовлено комплексное мягко-оболочечное укрытие, обеспечивающее создание микроклимата по всему периметру укрываемого корпуса [1]. Актуальность создания зон микроклимата при ремонте и окраске подводной части корпусов морских судов в доках в наше время вновь возросла с появлением новых ледоколов, многофункциональных судов обеспечения и грузовых судов ледового класса для работы на шельфе дальневосточных морей и в арктической зоне в условиях технологического суверенитета. Решать задачу создания микроклимата у корпусов в плавучих или сухих доках необходимо на новой технологической основе: локальные укрытия должны быть легко и быстро возводимые, мобильные, универсальные по конфигурации укрываемых зон, иметь хорошие теплоизолирующие качества. Пневмонапряженные панели (пневмопанели), изготовленные по технологии drop stitch, позволяют получить эффективные конструкции доковых локальных укрытий с хорошими теплоизолирующими качествами, легко возводимые и с высокой несущей способностью. На примере модельного локального укрытия из пневмопанелей части борта многофункционального судна обеспечения ледового класса проекта R-70201 выполнена оценка энергетических затрат для поддержания технологически обоснованной температуры нанесения и высыхания ледостойкого эпоксидного покрытия Inerta 160 при средней климатической температуре окружающего воздуха в зимнее время года на юге Приморского края. Также выполнена оценка величины избыточного давления воздуха в пневмопанелях модельного

локального укрытия для одного из вариантов расчетной нагрузки.

Опыт создания зон микроклимата при доковом ремонте судов на Дальнем Востоке

Повышенный спрос в доковом ремонте, вызванный перевесом количества судов ледового класса над мощностями судоподъемных сооружений на Дальнем Востоке, и появление ледостойких покрытий (Inerta 160) в 80-х гг. XX столетия стали первопричиной создания локальных укрытий для организации зон микроклимата в подводной части борта в доке. Комплекс мероприятий по организации микроклимата включал постройку укрытий, подведение в укрываемую зону подогретого воздуха, оснащение рабочих индивидуальными средствами защиты, включая дыхательные аппараты с принудительной подачей воздуха. Технологические возможности изготовления укрытий ограничивались тентовыми конструкциями с надувными элементами для плотного прилегания укрытия к борту судна и созданием полостей – «подушек» – на тентах, повышающих теплоизолирующие качества укрытий (рис. 1) [2]. Крепление тентов к борту судна осуществлялось с помощью натянутого троса, закрепленного на приваренных к корпусу кронштейнах, а натяжение тентов и уплотнение места крепления тента к тросу выполнялось пневмонапряженным цилиндром (рис. 2, б). В цилиндрической части корпуса укрытие было смонтировано на решетованиях (рис. 2, а). Пространство под укрытием делилось на зоны поперечными тентовыми переборками, скроенными по форме сечений корпуса судна. Подаваемый в зоны теплый воздух через карманы в силовых тентах создавал избыточное давление в «подушках», обеспечивая дополнительный теплоизолирующий барьер. Установка локального укрытия по всему периметру корпуса требовала времени до одной рабочей смены. В целом укрытие позволяло создать микроклимат у борта судна независимо от сезона и по-

годных условий, но было сложным в эксплуатации. Тем не менее опыт создания зон микроклимата в доках на Дальнем Востоке показал эффективность этих мероприятий, т. к. позволял в условиях всепогодности качественно наносить ледостойкие

и другие лакокрасочные покрытия на корпус судна, обеспечивая выполнение технологических требований по высыханию (отвердеванию), и сокращал время нанесения эпоксидных и многослойных покрытий.

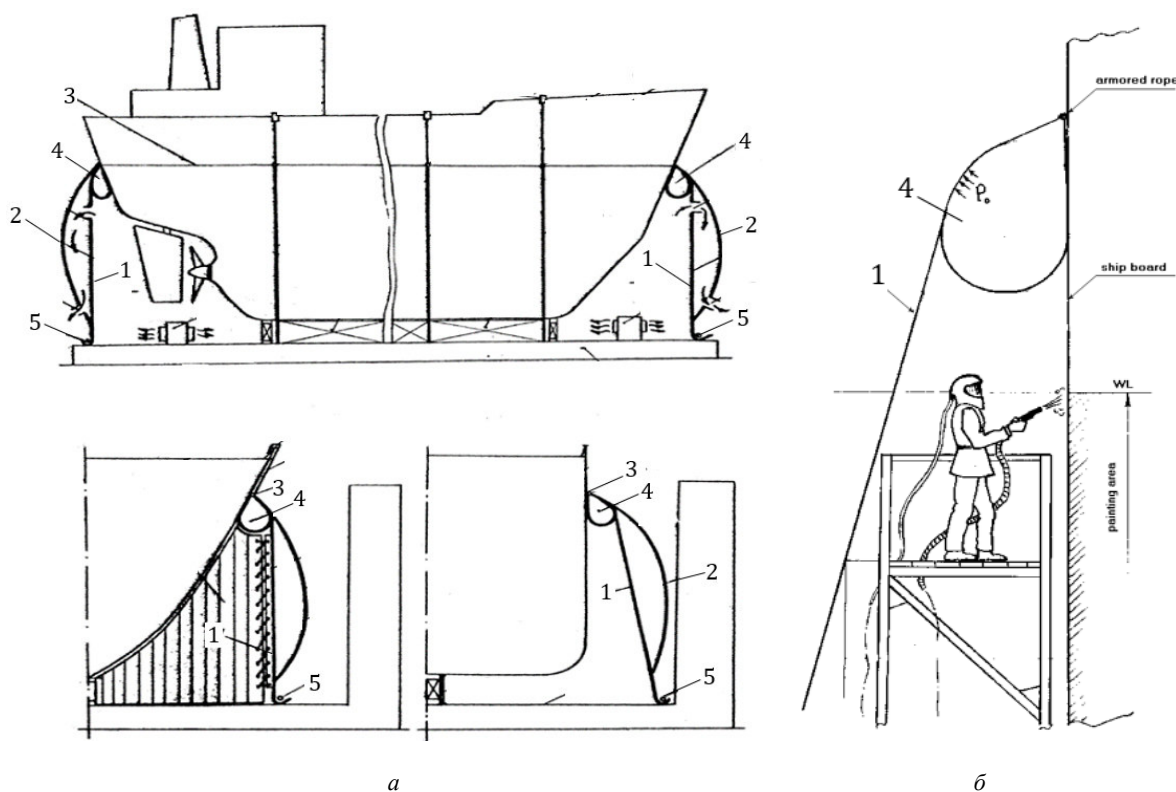


Рис. 1. Укрытие для создания микроклимата вокруг корпуса судна в доке: а – схема укрытия и воздухообмена в нем; б – схема натяжения силового тента и защиты борта судна от осадков надувным уплотнительным элементом; 1 – силовой тент; 2 – тент, образующий теплоизолирующую «подушку»; 3 – трос для крепления силового тента и уплотнительного элемента; 4 – уплотнительный элемент в виде надувного цилиндра; 5 – крепление силового тента на стпель-палубе

Fig. 1. Shelter to create a microclimate around the vessel's hull in the dock: а – shelter and air exchange scheme in it; б – the scheme of tensioning of the power awning and protection of the side of the vessel from precipitation by an inflatable sealing element; 1 – power awning; 2 – awning forming a heat-insulating "pillow"; 3 – cable for fastening the load-bearing awning and sealing element; 4 – sealing element in the form of an inflatable cylinder; 5 – fastening of the power awning on the slipway deck

Время создания и использования локального укрытия пришлось на переломный период в развитии страны, сопровождающийся падением отечественного судостроения и судоремонтного производства, особенно в районах с суровыми климатическими условиями (Николаевск-на-Амуре, Комсомольск-на-Амуре, Советская Гавань, Сахалин, Камчатка).

Ситуация с пополнением отечественного ледокольного флота, транспортных судов ледового класса, развитием отечественного судостроения, возрождением судоремонта кардинально изменилась

в первом десятилетии текущего столетия. Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2035 г. определено кратное увеличение флота для работы в замерзающих морях Дальневосточного бассейна и в Восточном секторе Арктики. Соответственно, растет потребность в ремонте судов ледового класса, включая, прежде всего, их доковый ремонт. Судоремонтные предприятия Дальнего Востока должны быть готовы к использованию новых технологий докового ремонта, в частности нанесению ледостойких покрытий на корпуса судов. В эксплуатации уже находятся многофункциональ-

ные ледоколы проектов № 22600; № 21900M; № 21900; № 21180; Aker ARC 130A; ледокол «Обь» по проекту Aker ARC 124. Обслуживание шельфовых нефтегазодобывающих платформ на Сахалине

обеспечивают многофункциональные суда снабжения (обеспечения) проекта № R-70201 и многоцелевое судно ледового плавания проекта Aker ARC 121.

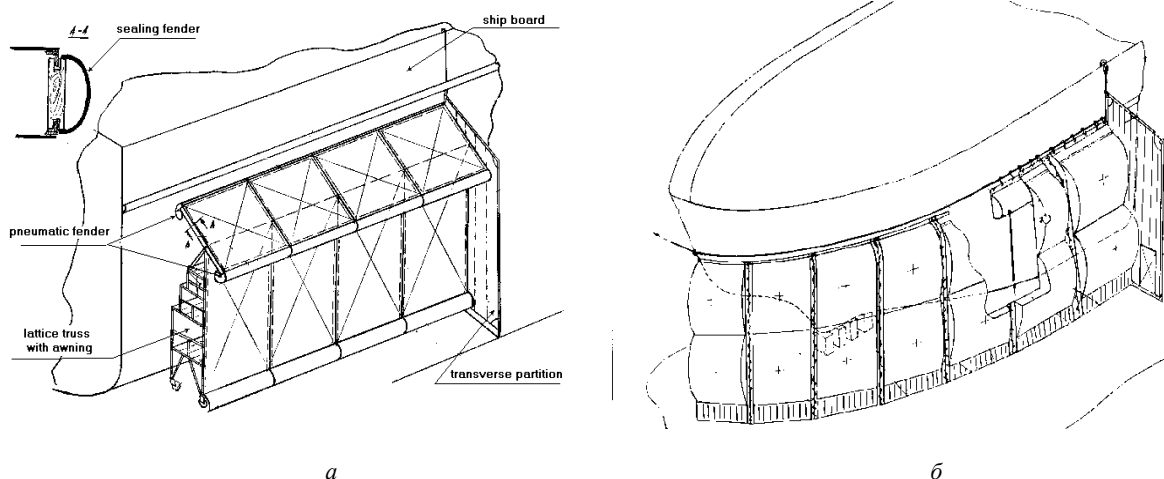


Рис. 2. Организация зон микроклимата в цилиндрической части на решетованиях (а) и в кормовой оконечности корпуса судна (б)

Fig. 2. Organization of microclimate zones in the cylindrical part on the lattices (a) and in the aft end of the vessel's hull (b)

Новую актуальность обретают технологии нанесения ледостойких двухкомпонентных покрытий на корпуса судов с ледовым классом во всепогодных условиях на судоремонтных предприятиях Дальнего Востока. Технологические регламенты нанесения двухкомпонентного ледостойкого покрытия Inerta 160 требуют обеспечения климатических условий с устойчивой положительной температурой не менее 10 °С при влажности воздуха не выше 60 % [3]. Такие условия на открытых площадках дальневосточных судоремонтных предприятий достижимы только с применением искусственно создаваемых условий микроклимата вблизи корпуса судна. Регулирование температуры и влажности в зонах микроклимата обеспечит оптимальные условия для многослойного нанесения ледостойких покрытий при сокращении сроков на просушку.

Применение пневмопанельных конструкций в качестве укрытий зон микроклимата

Современные укрытия зон микроклимата в доках должны отвечать следующим требованиям:

- легко возводиться в рабочее состояние с минимальными затратами ручного труда;
- сохранять несущую способность без дополнительных креплений к корпусу судна;
- компактно укладываться в размеры кратно меньшие, чем размеры в рабочем состоянии;

- быть ремонтнопригодными, многократно используемыми;
- быть пожаробезопасными – не поддерживающими горение;
- иметь хорошие теплоизолирующие качества.

Такое сочетание требований не обеспечивается конструкцией локального укрытия по типу показанного на рис. 1 и 2, но может быть получено в конструкции с применением пневмопанелей. Пневмопанели – это композитные надувные конструкции, состоящие из двух воздухонепроницаемых мягких полотнищ, соединенных часто поставленными нитями-стяжками с помощью тканной технологии drop stitch (рис. 3) [4]. По всему периметру пневмопанели закрыты воздухонепроницаемыми мембранами. Под действием избыточного давления воздуха внутри пневмопанель приобретает плоскую форму и несущую способность (обладает изгибной жесткостью). Рабочие давления внутри пневмопанелей находятся в диапазоне 200–400 кПа. При таких давлениях пневмопанели имеют изгибную жесткость, как трехслойные композитные конструкции, но при удалении воздуха из внутреннего пространства их габариты становятся равными размерам несущих полотнищ и, как любая мягкая оболочка, могут быть компактно уложены или свернуты в значительно меньший объем.

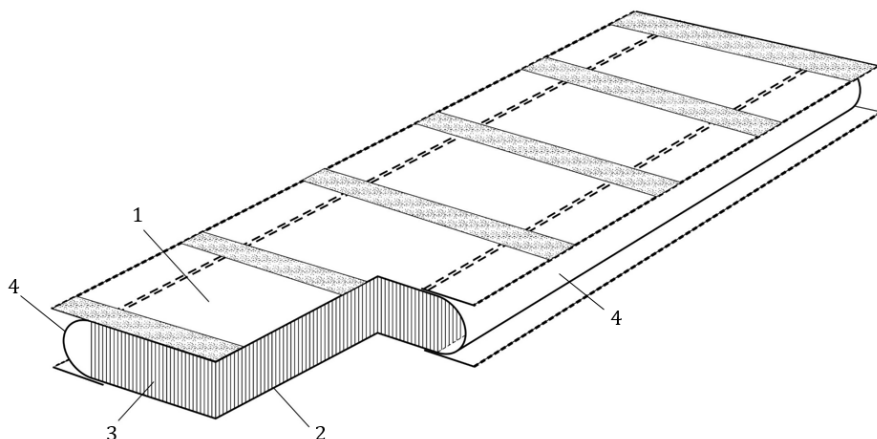


Рис. 3. Надувная панель (пневмопанель): 1 и 2 – несущие герметичные полотнища; 3 – нити-стяжки, соединяющие несущие полотнища тканым образом по технологии drop stitch; 4 – мембраны, герметизирующие пневмопанель по торцам

Fig. 3. Inflatable panel (pneumatic panel): 1 and 2 – load-bearing sealed panels; 3 – tie threads connecting the load-bearing panels in a woven way using the drop stitch technology; 4 – membranes sealing the pneumatic panel at the ends

Напряженно-деформированное состояние пневмопанелей под действием только избыточного давления внутри и под действием внешних нагрузок отличается от трехслойных композитных конструкций напряженностью несущих полотнищ и нитей-стяжек. От величины натяжений в несущих полотнищах и нитях-стяжках зависит несущая способность пневмопанелей. Критическими состояниями пневмопанелей принято считать такие, при которых в несущих полотнищах растягивающие натяжения обнуляются. Такие состояния предшествуют возникновению складок в несущих полотнищах, которые при дальнейшем увеличении внешней нагрузки приводят к переламыванию пневмопанели – потере ее несущей способности. Однако в отличие от жестких композитных трехслойных конструкций, у которых подобная ситуация соответствует потере устойчивости одного из внешних слоев с последующим разрушением слоя

наполнителя и конструкции в целом, пневмопанели после прекращения действия критической нагрузки восстанавливают исходную форму и свою несущую способность под действием внутреннего избыточного давления.

Так же как и у трехслойных жестких композитных конструкций, у пневмопанелей решающее значение для их несущей способности играет жесткость поперечного сдвига, которая напрямую зависит от величины избыточного давления воздуха внутри панели [5]. Существенно увеличить жесткость пневмопанелей поперечному сдвигу удается установкой нитей-стяжек под углом к несущим полотнищам (рис. 4). Жесткость пневмопанели с наклонными стяжками в диапазоне рабочих значений избыточного давления в них, по сравнению с пневмопанелями с вертикальными стяжками, составляет трех-четырекратную величину по значению максимального прогиба.

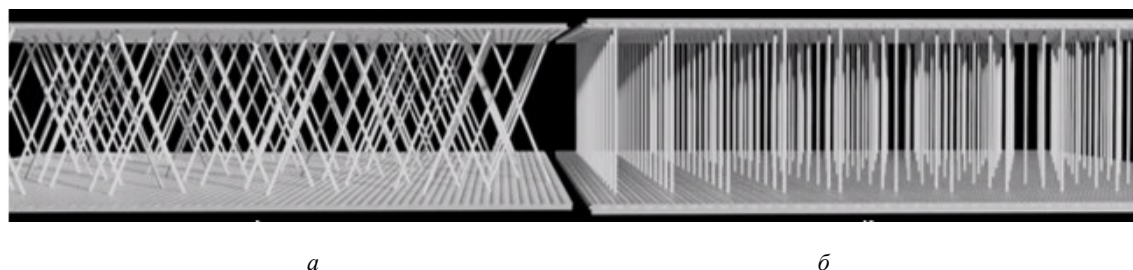


Рис. 4. Пневмопанели с наклонными (а) и с вертикальными (б) нитями-стяжками

Fig. 4. Pneumatic panels with inclined (a) and vertical (b) tie threads

Наглядным примером возможностей конструкций из пневмопанелей является надувная спасательная шлюпка вместимостью 530 человек, что

в 3,5 раза превосходит вместимость существующих спасательных шлюпок из пластика (150 человек) (рис. 5).



Рис. 5. Спасательная шлюпка из пневмопанелей вместимостью 530 человек

Fig. 5. Lifeboat made of pneumatic panels with a capacity of 530 people

В сложенном состоянии две спасательные шлюпки (на 1 060 человек) вместе с эвакуационным устройством компактно размещаются в 20-футовом контейнере, длина которого сопоставима с длиной одной пластиковой спасательной шлюпки на 150 человек. Жесткости и прочности пневмопанелей, из которых сформирован корпус спасательной шлюпки, обеспечены при плавании на волнении при рабочих давлениях в пневмопанелях, сопоставимых с давлениями в надувных досках sup-board [6].

Пространство внутри пневмопанелей, заполненное воздухом под избыточным давлением, обладает хорошим теплоизолирующим эффектом, т. к. коэффициент теплопроводности воздуха в 2,5–3,8 раза меньше коэффициентов теплопроводности пористых и волокнистых теплоизолирующих материалов, применяемых в строительстве и криогенной технике (таблица).

Коэффициенты теплопроводности воздуха и различных теплоизоляционных материалов, Вт/(м·К)

Coefficients of thermal conductivity of air and various thermal insulation materials, W/(m·K)

Теплоизоляционный материал	Значение
Неподвижный воздух	0,014
Пробковая крошка	0,0384
Пенополистирол	0,0326
Поливиниловая пена	0,0326
Карбомидная пена	0,035
Пенистый фенол	0,041
Стеклопена	0,053
Стекловолокнистая плита	0,035
Стекловата	0,041
Асбестоволокнистая плита	0,035

Оценка теплоизолирующих качеств пневмопанельного укрытия зоны микроклимата

Выполним оценку энергозатрат, необходимых для поддержания заданной температуры в зоне микроклимата у корпуса судна в доке при известной температуре окружающего воздуха и температуре корпуса.

Смоделируем зону микроклимата у борта многоцелевого судна обеспечения проекта R-70201 в плавучем доке в виде пространства, ограниченного вертикальной стенкой из пневмопанели и наклонной панелью, закрывающей его сверху (рис. 6). Размер зоны по высоте определяется требованиями Правил Российского морского регистра судоходства (Часть XIII. Материалы) при нанесении ледостойких покрытий (пункт 6.5.3.2), согласно которым «...ледостойкие покрытия судов ледовых классов должны быть нанесены не менее 1,0 м выше верхней границы, и не менее 1,0 м ниже нижней границы ледовых усилений». Ширину зоны примем достаточной для размещения как стационарных решетообразных, так и передвижных – до 5 м. Для модельного расчета привяжем зону микроклимата к цилиндрической части корпуса, приняв ее длину равной 20 м. Торцевые оконечности зоны считаем закрытыми тентами, так же, как и пространство под скулой корпуса. Плотное прилегание наклонной пневмопанели (крыши укрытия) к корпусу судна обеспечивается надувным буртом.

Температурный режим в зоне микроклимата примем в соответствии с требованиями нанесения абразивостойкого эпоксидного покрытия Intershield 163 (Inerta 160) в условиях судоремонтного предприятия, когда минимально необходимая температура покрытия для получения оптимальных эксплуатационных качеств должна поддерживаться выше

10 °С. В условиях судостроения покрытие может наноситься при температурах до 0 °С при условии, что оно оставляется для отверждения на период как минимум 2-х месяцев до сдачи судна. По требованиям производителя ледостойкого покрытия оно должно наноситься в хорошую погоду при

температуре окрашиваемой поверхности как минимум на 3 °С выше температуры точки росы. Для получения оптимальных параметров при нанесении температура материала должна быть около 21–27 °С перед перемешиванием и нанесением.

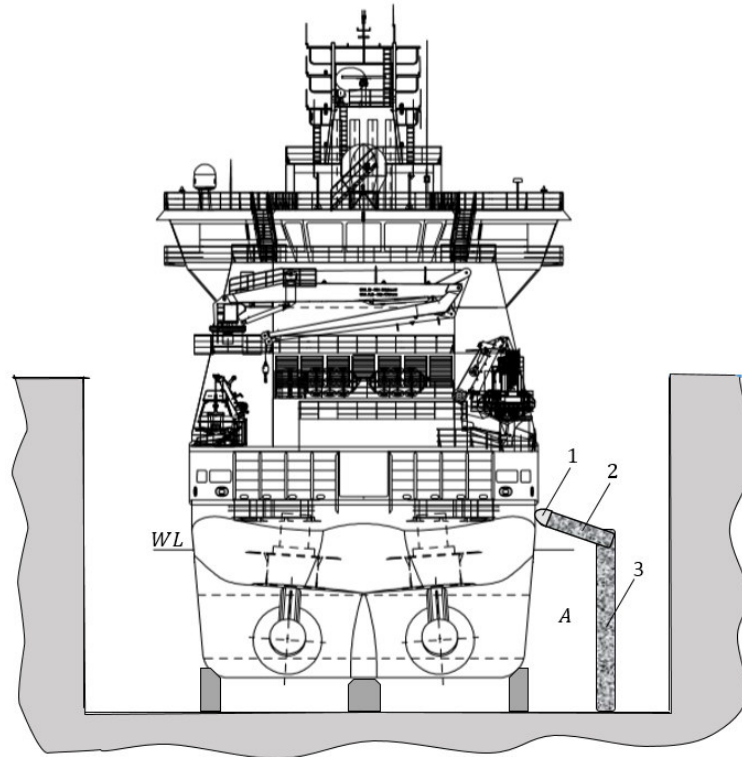


Рис. 6. Схема организации зоны микроклимата *A* возле борта многоцелевого судна обеспечения проекта R-70201 в плавучем доке: *WL* – ватерлиния; 1 – уплотнительный надувной борт; 2 – наклонная пневмопанель; 3 – вертикальная пневмопанель

Fig. 6. Scheme of microclimate zone *A* at the side of the multi-purpose support vessel of project R-70201 in the floating dock: *WL* – waterline; 1 – inflatable sealing pile; 2 – inclined pneumatic panel; 3 – vertical pneumatic panel

Исходя из вышеприведенных технологических требований к нанесению двухкомпонентного эпоксидного покрытия, примем температуру корпуса: 10 °С; температуру в изолированной зоне: 25 °С; а температуру окружающего воздуха: –15 °С. Искомой величиной является количество тепла, которое необходимо подводить для обеспечения теплового баланса с заданными температурами корпуса судна, воздуха в зоне микроклимата и вне зоны.

В расчетной модели примем процесс теплообмена установившимся. Тогда для выделенного фрагмента бортового укрытия уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$\sum_1^n q_i = \sum_1^n K_{i-(i+1)} S_i (T_i - T_{i+1}) = q_r, \quad (1)$$

где q_i – величина i -го теплового потока; n – количество тепловых потоков через границы рассматриваемого замкнутого пространства; $K_{i-(i+1)}$ – коэффициент теплопередачи через материал или через среду при движении теплового потока от i -й поверхности к $(i+1)$ -й поверхности или от поверхности к пространству среды с соответствующими индексами; S_i – площадь поверхности теплопередачи; T_i – температура i -й поверхности или среды; T_{i+1} – температура $(i+1)$ -й поверхности или среды; q_r – величина теплового потока, нагнетаемого теплогенератором.

Распределение температур внутри корпуса, включая двойной борт, на бортовой обшивке, в зоне микроклимата (зона *A*), на несущих полотнищах пневмопанелей, во внутренних пространствах пневмопанелей и за пределами зоны приведено на рис. 7.

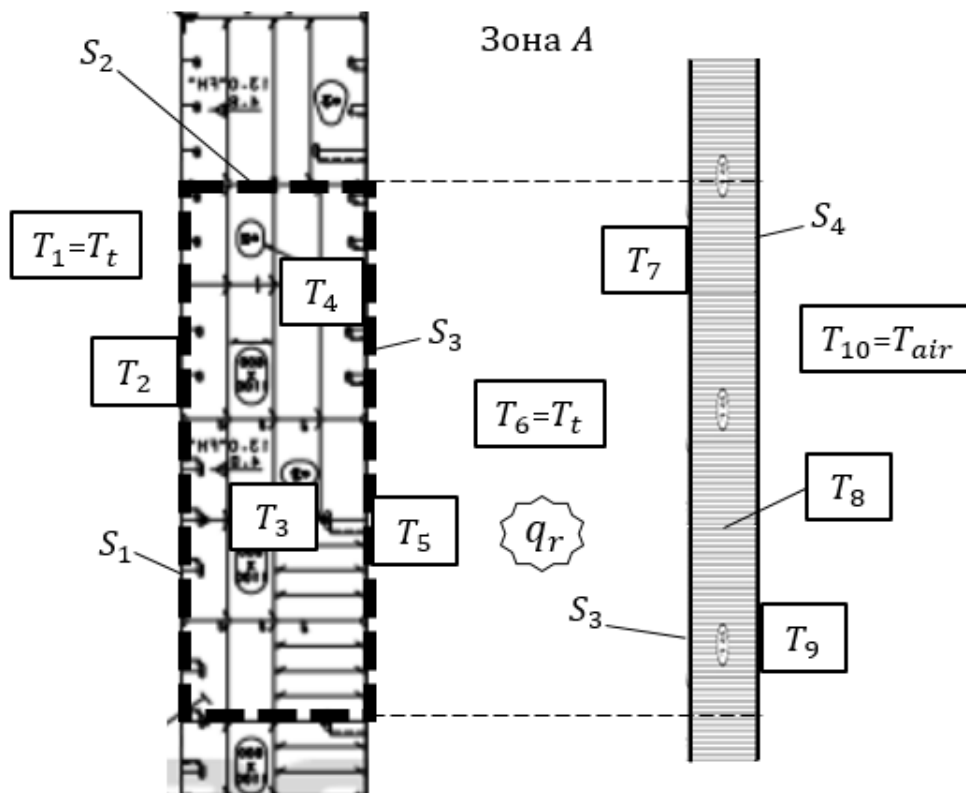


Рис. 7. Расчетная схема температур фрагмента зоны микроклимата у борта судна, сформированной пневмопанельным укрытием: штрих-пунктиром выделен расчетный фрагмент на корпусе судна (жирным) и в зоне микроклимата (тонким); T_1-T_{10} – температуры на поверхностях и в пространствах; T_{air} – температура наружного воздуха; T_t – температура горячего воздуха; q_r – тепловой поток теплогенератора

Fig. 7. Design diagram of temperatures of a fragment of the microclimate zone at the side of the vessel, formed by a pneumatic panel shelter: the design fragment on the hull of the vessel (bold) and in the microclimate zone (thin) is highlighted with a dash-dotted line; T_1-T_{10} – temperatures on surfaces and in spaces; T_{air} – outdoor temperature; T_t – hot air temperature; q_r – heat flow of a heat generator

Коэффициент $K_{i-(i+1)}$ при передаче тепла через материал толщиной t от его i -й поверхности к $(i+1)$ -й поверхности (вследствие теплопроводности) определим по формуле

$$K_{i-(i+1)} = \frac{k_{i-(i+1)}}{t},$$

где $k_{i-(i+1)}$ – коэффициент теплопроводности материала.

Для рассматриваемого фрагмента материалами являются листы обшивки двойного борта, имеющие площади S_1 , стрингеры, имеющие площади S_2 , расчетный фрагмент обшивки борта, на который наносится покрытие площадью S_3 , несущие полотнища пневмопанелей укрытия площадью S_3 внутри укрытия и S_4 снаружи укрытия.

Коэффициент $K_{i-(i+1)}$ при передаче тепла через среду принимается равным коэффициенту конвективной

теплоотдачи, который определяют по формуле

$$K_{i-(i+1)} = \frac{Nu_{i-(i+1)} k_{i-(i+1)}}{L_{i-(i+1)}},$$

где $Nu_{i-(i+1)}$ – число Нуссельта для расчетной области; $k_{i-(i+1)}$ – коэффициент теплопроводности среды (воздуха во внутреннем пространстве двойного борта, в укрываемой зоне микроклимата; воздуха или газа во внутреннем пространстве пневмопанелей); $L_{i-(i+1)}$ – характерная длина поверхности теплопередачи в рассматриваемом пространстве.

Во всех случаях теплопередачи (через материал или через среду) коэффициент теплопередачи $K_{i-(i+1)}$ зависит от температуры, поэтому система уравнений (1) нелинейная:

$$K_{i-(i+1)} S_i (T_i - T_{i+1}) = K_{(i+1)-(i+2)} S_i (T_{i+1} - T_{i+2}).$$

Искомые величинами являются температуры на поверхностях материалов, через которые тепловой поток направлен от более высоких температур к более низким, и через пространства сред, преодолеваемых тепловым потоком от внешней среды (воздуха), температура которой задана (например, воздуха за зоной микроклимата: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$; внутри корпуса: $5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Расчетную температуру наружного воздуха в доке следует задавать пониженной с учетом ветрового потока.

Система наполнения пневмопанелей подогретым воздухом позволяет регулировать количество необходимого теплового потока, подаваемого в укрываемую зону микроклимата.

Уточнение расчета температурного режима в зоне микроклимата возможно с учетом тепловых потерь через неплотности прилегания уплотнительного надувного бурта к корпусу судна. В установленном режиме поддержания рабочей температуры в укрываемой зоне микроклимата теплопотери через уплотнительный борт не будут превышать 5% от подаваемой тепловой мощности.

Прочностные характеристики пневмопанельного укрытия зоны микроклимата

Преимущество пневмопанельного укрытия (см. рис. 5) по сравнению с тентовой конструкцией (см. рис. 1, 2) состоит в способности устанавливать его в рабочее состояние без дополнительного ручного труда и дополнительных крепежных элементов на корпусе судна. Пневмопанельное укрытие приобретает несущую способность за счет наполнения воздухом под избыточным давлением, величина которого варьируется в диапазоне $200\text{--}400\text{ кПа}$. Расчетными нагрузками для выбора толщины

пневмопанелей и величины избыточного давления является давление нагнетаемого в укрываемую зону нагретого воздуха и аэродинамическое разрежение, которое возникает при продольном ветровом потоке во внутрибашенном пространстве дока. Суммарное значение давления от нагретого воздуха и разрежения от ветрового потока составляло не более 20 кПа , которое выдерживает пневмопанель даже в консольном исполнении (при закреплении в опоре на стапель-палубе дока) в диапазоне докритических деформаций – деформаций без образования складок на несущих полотнищах [5]. Опоры пневмопанельного укрытия монтируют на передвижной тележке, что обеспечивает его передвижение по стапель-палубе в необходимое место у корпуса судна.

Заключение

Предложено инновационное укрытие из пневмопанельных конструкций у борта судна в доке для создания зоны микроклимата при нанесении ледостойких покрытий во всепогодных условиях ремонта в Дальневосточном регионе. Для установленных условий поддержания заданной температуры в зоне микроклимата получена система уравнений, которая позволяет получить распределение температур на обшивке корпуса судна при известной температуре в междубашенном пространстве дока и температуры внутри корпуса судна. Для расчетной нагрузки, сложенной из давления внутри зоны от теплогенератора и аэродинамического разрежения потока в внутрибашенном пространстве дока, выполнена оценка несущей способности укрытия, которая при рабочих давлениях в пневмопанелях является достаточной.

Список источников

1. Авторское свидетельство № SU1661054A1. Укрытие корпуса судна в доке / Огай С. А., Смолин Ю. И., Рейзвих А. Р., Тодышев Ю. Г., Алейников В. А.; зарег. 10.08.1989; опублик. 07.07.1991.
2. Огай С. А., Друзь Б. И. Применение мягкооболочечных конструкций в судоремонте // Науч. тр. XXXII Всесоюз. межвуз. науч.-техн. конф. Владивосток: Изд-во ТОВВМУ, 1989. Т. 1. Ч. 2. С. 216–218.
3. Inerta 160. Эпоксидное покрытие / Teknos. URL: <https://www/teknos.com> (дата обращения: 02.03.2025).

4. Drop Stitch – technology for sewing inflatable products, ensuring high strength and reliability / SportZone. URL: <https://sportzone.ua/info-sup-bording/detail/drop-stitch-technologie-poshiva-naduvnyh-izdeliy-o/> (дата обращения: 03.02.2023).
5. Огай С. А., Друзь Б. И. Теория и расчет пневмопанельных конструкций. Владивосток: Изд-во Дальневосточ. ун-та, 1994. 180 с.
6. Seahaven. Lifeboats. URL: <https://survitecgroup.com/lifeboats/lifeboats/seahaven/> (дата обращения: 01.03.2025).

References

1. Ogai S. A., Smolin Yu. I., Reizvikh A. R., Todyshev Yu. G., Aleinikov V. A. *Ukrytie korpusa sudna v doke* [Shelter of the ship's hull in the dock]. Avtorskoe svidetel'stvo № SU1661054A1; 07.07.1991.
2. Ogai S. A., Druz' B. I. *Primenenie miagkoobolocheknykh konstruksii v sudoremonte* [The use of soft-shell structures in ship repair]. *Nauchnye trudy XXXII Vsesoiuznoi mezhvuzovskoi nauchno-tekhnicheskoi konfer-*

- entsii*. Vladivostok, Izd-vo TOVVMU, 1989. Vol. 1. Part 2. Pp. 216-218.
3. *Inerta 160. Epoksidnoe pokrytie* [Inertia 160. Epoxy coating]. Teknos. Available at: <https://www/teknos.com> (accessed: 02.03.2025).
4. *Drop Stitch – technology for sewing inflatable products, ensuring high strength and reliability*. SportZone. Available at: <https://sportzone.ua/info-sup-bording/detail/>

drop-stitch-tehnologiya-poshiva-naduvnyh-izdeliy-o/ (accessed: 03.02.2023).

5. Ogai S. A., Druz' B. I. *Teoriia i raschet pnevmo-panel'nykh konstruksii* [Theory and calculation of pneumatic

panel structures]. Vladivostok, Izd-vo Dal'nevostochnogo universiteta, 1994. 180 p.

6. *Seahaven. Lifeboats*. Available at: <https://survitecgrou.com/lifeboats/lifeboats/seahaven/> (accessed: 01.03.2025).

Статья поступила в редакцию 04.03.2025; одобрена после рецензирования 08.04.2025; принята к публикации 24.04.2025
The article was submitted 04.03.2025; approved after reviewing 08.04.2025; accepted for publication 24.04.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Захарович Рогов – аспирант; старший преподаватель кафедры технологии и организации судоремонта; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; RogovAZ@msun.ru

Alexander Z. Rogov – Postgraduate Student; Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Ship Repair; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; RogovAZ@msun.ru

Сергей Алексеевич Огай – доктор технических наук, доцент; профессор кафедры теории и устройства судна; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; Ogay@msun.ru

Sergey A. Ogay – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Professor of the Department of Ship Theory and Design; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; Ogay@msun.ru

