

## ПРОЧНОСТЬ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 629.12  
EDN TWDHMMW

### ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА ПРИ ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

**М.С. Бойко**, канд. техн. наук, ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 191181 Россия, Санкт-Петербург, Миллионная ул., 7А, e-mail: boyko.ms@rs-class.org

Объектом исследования в статье являются конструкции морских транспортных судов, подверженные длительному воздействию низких температур окружающего воздуха. Предметом исследования являются методы определения расчетной температуры окружающего воздуха при выборе стали для корпусных конструкций. Рассмотрены методы, которые базируются на требованиях нормативных документов. Выполнен обзор существующей отраслевой нормативной базы, включая Правила Российского морского регистра судоходства, требования Международной ассоциации классификационных обществ, Международной морской организации, Финско-шведской морской администрации, Береговой охраны США. Выполнены расчеты температуры на основе анализа открытой отечественной базы данных измерений с 2013 по 2024 г. в зимний период для точек наблюдения в восточной части Балтийского моря (Финский залив) и на Северном морском пути. Проведено сопоставление значений температуры, полученных по разным методикам. Приведены результаты применения методов теории вероятностей и математической статистики для определения значения расчетной температуры воздуха. Определены параметры нормального закона распределения расчетной температуры для рассмотренных точек наблюдения, получены вероятностные оценки требуемых значений температуры.

**Ключевые слова:** корпус судна; низкая температура воздуха; Балтийское море, Северный морской путь, суда ледового класса; MDAT; DAT.

**Для цитирования:** Бойко М.С. Об определении расчетной температуры окружающего воздуха при выборе материалов корпусных конструкций на основе требований нормативных документов / М.С. Бойко // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2025. — № 78. — С. 51 — 64. — EDN TWDHMMW.

## DEFINITION OF DESIGN AMBIENT TEMPERATURE FOR THE PURPOSE OF MATERIAL SELECTION FOR SHIP HULL BASED ON THE NORMATIVE DOCUMENTS

**M.S. Boyko**, PhD, FAI Russian Maritime Register of Shipping, 191181 Russia, St. Petersburg, Millionnaya ul., 7A, e-mail: boyko.ms@rs-class.org

The object of the study presented in the paper are the structures of ship hull subjected to the long-term influence of low ambient air temperature. The subject of the study are the methods aimed to define the value of design air temperature required to select the steel grade for hull structures. The methods addressed in the paper are based on the industry regulatory framework. The following requirements have been reviewed: rules of Russian Maritime Register of Shipping, International Association of Classification Societies, International Maritime Organization, Finnish-Swedish Maritime Administration, and US Coast Guard rules. The calculations of design temperature have been performed, which are based on the available Russian climate database for several observation points. The calculations cover the period of 2013—2024 for winter season in the eastern part of Baltic Sea (Gulf of Finland) and Northern Sea Route area. The comparison is made between different probability theory methods and statistics applied to define the value of design air temperature. Normal law parameters have been calculated for all the selected observation points. Eventually, the design temperatures have been calculated which are based on probability theory methods.

**Key words:** ship hull; low ambient temperature; Baltic Sea; Northern Sea Route; ice class ships; MDAT; DAT.

**For citation:** Boyko M.S. Definition of design ambient temperature for the purpose of material selection for ship hull based on normative documents. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2025. No. 78. P. 51 — 64. EDN TWDHMM. (In Russ.)

### ВВЕДЕНИЕ

При проектировании конструкций морских транспортных судов применяют требования нормативных документов по выбору материалов корпусных конструкций. Для конструкций, подверженных длительному воздействию низких температур, выбор стали производится исходя из ответственности конструкции, фактически принятой толщины конструктивных элементов и расчетной температуры конструкций. Расчетная температура конструкции, в свою очередь, определяется по специальным методикам, описание которых приводится в нормативных документах, и зависит от расчетной температуры окружающего воздуха.

Расчетная температура окружающего воздуха является одним из основных параметров, обеспечивающих безопасность эксплуатации судна. Величина данной температуры определяется на ранних стадиях проектирования, как правило, указывается в техническом задании на разработку проекта судна, в судовой спецификации. Данный параметр во многом определяет объем требований, которые предъявляются к материалу конструкций, и стоимость материалов. Важность рассматриваемого параметра для проектирования судна и развития требований нормативных документов определяет актуальность проведения комплексных исследований применяемых методик расчета, регулярного выполнения сопоставительных расчетов и совершенствования требований классификационных обществ.

Объектом исследования в статье являются конструкции морских транспортных судов, подверженные длительному воздействию низких температур окружающего воздуха. Предметом исследования являются методы определения расчетной температуры окружающего воздуха при выборе стали для корпусных конструкций.

Рассмотрены условия эксплуатации судна в восточной части Балтийского моря (Финский залив) и на трассах Северного морского пути (СМП) в зимний период.

В статье приведен обзор требований нормативных документов, а также обзор научных публикаций по рассматриваемой тематике. Выполнены расчеты температуры окружающего воздуха с применением требований нормативных документов и на основе открытой базы данных измерений температуры за период 2013 — 2024 гг. Проведено сопоставление значений расчетной температуры, полученных по разным нормативным документам.

В статье также приведены результаты применения методов теории вероятностей и математической статистики для определения тех значений расчетной температуры, которые предусмотрены действующими нормативными документами.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Существующие методы определения расчетной температуры окружающего воздуха, которая используется при выборе стали для корпусных конструкций, можно разделить на следующие типы:

- 1) методы, основанные на анализе данных измерений температуры воздуха в районе эксплуатации;
- 2) методы, которые предполагают использование однозначно зафиксированных в нормативном документе максимальных значений температуры в зависимости от ледового класса судна;
- 3) методы, которые предполагают использование однозначно зафиксированного в нормативном документе значения температуры в районе эксплуатации.

Перечисленные методы описаны в отраслевых нормативных документах, которые можно условно разделить на следующие группы:

- 1) требования классификационных обществ;
- 2) требования морских администраций (МА).

Рассмотрим некоторые характерные примеры требований классификационных обществ к определению температуры окружающего воздуха.

В соответствии с Правилами классификации и постройки морских судов [1] Российского морского регистра судоходства (РС) при определении расчетной температуры корпусных конструкций вводится понятие минимальной расчетной температуры окружающего воздуха  $T_A$ . В качестве величины  $T_A$  принимается минимальная среднесуточная температура воздуха, отмеченная за пятилетний период эксплуатации в наиболее неблагоприятных по условиям охлаждения акваториях.

Кроме указанного выше метода, в Правилах [1] также зафиксированы максимально допустимые значения температуры  $T_A$  для судов с ледовым классом РС:

- $T_A \geq -40$  °С для ледоколов ледовых классов Icebreaker9, Icebreaker8, Icebreaker7 и судов ледовых классов Arc9, Arc8, Arc7, Arc6, Arc5;
- $T_A \geq -30$  °С для ледоколов ледового класса Icebreaker6 и судов ледового класса Arc4;
- $T_A \geq -10$  °С для судов ледовых классов Ice3, Ice2 и Ice1.

Требования Правил [1] допускают также выбор материалов корпусных конструкций в соответствии с Унифицированным требованием S6 Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) [2]. В Унифицированном требовании [2] вводится понятие осредненного значения средней температуры суточного температурного диапазона за каждые сутки года. Осредненное значение определяется в каждые сутки года по массиву значений в течение как минимум 10 лет. Данный параметр обозначается MDAT (Mean Daily Average Temperature). В качестве расчетного значения температуры, на основе которого выбирается сталь для конструкций, должно приниматься минимальное значение среди всех значений MDAT в течение рассматриваемого периода эксплуатации, которое обозначается LMDAT (Lowest Mean Daily Average Temperature).

Кроме MDAT, в документе вводится понятие осредненного значения нижней температуры суточного температурного диапазона за каждые сутки года. Осредненное значение определяется в каждые сутки года по массиву значений в течение как минимум 10 лет. Данный параметр обозначается MDLT (Mean Daily Low Temperature). Минимальное значение MDLT в течение рассматриваемого периода эксплуатации обозначается LMDLT (Lowest Mean Daily Low Temperature). Значение LMDLT используется для определения полярной рабочей температуры (ПРТ) в соответствии с Международным кодексом для судов, эксплуатирующихся в полярных водах. Величину ПРТ следует принимать по меньшей мере на 10 °С ниже LMDLT, как указано в документе РС «Руководство по применению положений Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярного кодекса)» [3].

Особо следует рассмотреть требования к конструкциям судов, перевозящих сжиженный природный газ (СПГ) наливом. Для судов данного типа характерно воздействие низкой температуры на конструкции не только со стороны окружающего воздуха, но и со стороны перевозимого груза. Такие судна должны удовлетворять требованиям Международного кодекса постройки и оборудования судов, перевозящих сжиженные газы наливом [4] (далее — Кодекс МКГ). Требования Кодекса МКГ полностью учтены в Правилах классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом [5].

Правила [5], в полном соответствии с Кодексом МКГ, требуют, чтобы при определении температуры корпусных конструкций в общем случае температура окружающего воздуха принималась равной 5 °С. Однако приводится дополнительное условие: более низкие значения температуры допускаются для судов, эксплуатирующихся в районах, где в течение зимних месяцев могут наблюдаться более низкие температуры. Для ледоколов и судов ледовых классов температура окружающей среды в любом случае не должна приниматься выше значения  $T_A$ .

Рассмотрим некоторые характерные примеры требований морских администраций к определению температуры окружающего воздуха.

Применительно к региону Балтийского моря следует рассмотреть в качестве примера требования Финско-шведской морской администрации, которые применяются к Балтийским ледовым классам. Согласно Руководству по применению требований Финско-шведской морской администрации [6], температура воздуха в северной части Балтийского моря в основном в течение зимнего периода опускается ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и периодически может опускаться до температуры  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Указано, что в отдельные периоды времени могут наблюдаться значения температуры до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В качестве значения температуры окружающего воздуха, на которое следует ориентироваться при проектировании судна, Руководство фиксирует значение  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  для всех Балтийских ледовых классов.

Безопасность судоходства в Балтийском море была предметом пристального внимания государств региона при разработке требований Хельсинской конвенции [7] по защите морской среды Балтийского моря. В документе Рекомендация 25/7 [8], дополняющем требования Хельсинской конвенции, указано, что судно должно быть способно безопасно эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что должно учитываться при выборе материалов корпусных конструкций.

Еще одним примером требований МА являются требования Береговой охраны США [9], широко применяющиеся при проектировании и постройке современных судов для транспортировки СПГ. Нормативные документы Береговой охраны применяются для судов-газовозов, заходящих в территориальные воды США для выполнения грузовых операций. Расчетная температура воздуха для выбора материалов корпуса должна приниматься равной  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для судов, входящих в территориальные воды Аляски, должна приниматься равной  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Данное требование должно применяться при выборе материалов конструкций, которые являются смежными с системой хранения СПГ, оборудованной вторичным барьером. Для систем хранения иной конфигурации Береговая охрана США ссылается только на необходимость применения требований признанного классификационного общества.

Вопросы определения температуры окружающего воздуха при проектировании и эксплуатации судов обсуждаются в научных публикациях. Подробное исследование методов определения расчетной температуры для судов и плавучих сооружений в районе СМП выполнено в работе R. Bridges et al. [11]. Авторами использована база данных температур, ограниченная 2010 г., однако учитывалась история наблюдений примерно с середины XX века. Применительно к судам в статье выполнены расчеты температуры только в соответствии с Унифицированным требованием S6. Получены следующие значения для района СМП:  $\text{LMDAT} = -34,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $\text{LMDLT} = -37,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  в районе мыса Терпья-Тумса.

Также в статье [11] проведено сопоставление существующих требований нормативных документов к выбору категории стали для группы связей I. Более подробное сопоставление требований применительно ко всем группам связей выполнено в статье В.Ю. Филина и др. [12], где подтверждается достаточность требований РС к выбору категорий стали конструкций, эксплуатирующихся при низкой температуре окружающего воздуха.

Фундаментальные исследования процессов изменения температуры в регионе Арктики проводятся при участии специалистов Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Так, в статье Т.К. Карандашевой и др. [13] рассмотрены тенденции повышения приземной температуры в районе Баренцева и Карского морей. Использовались данные по 31 метеостанции в рассматриваемом районе за период 1991 — 2020 гг., получены параметры, характеризующие скорость потепления в Арктике. В статье Г.В. Алексеева и Н.Е. Харланенковой [14] получены среднемесячные значения температуры на береговых и островных метеостанциях в Арктике, получена корреляция между температурой воздуха и изменениями ледового покрова, также сделан вывод о тенденциях к потеплению.

В статье H. Sulistiyono et al. [15] вопрос определения расчетной температуры рассмотрен в контексте возможности применения риск-ориентированных методов обеспечения безопасности эксплуатации судов в Арктике, с акцентом на задачу «винтеризации». Обозначено, что применение требований нормативных документов позволяет получить только абсолютное значение расчетной температуры, однако не позволяет получить частоту ее возникновения и продолжительность негативного воздействия на судно. Предложен метод определения расчетной температуры окружающего воздуха, который позволяет учитывать указанные факторы.

В статье Y. Xiu et al. [16] приведены расчеты температуры окружающего воздуха в Арктике на основе Унифицированного требования МАКО S6, однако ставится под сомнение возможность использования измерений на береговых метеостанциях для определения температуры в море. Поэтому для расчетов авторами предложено использовать математическую модель реанализа MERRA-2. Сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения вопроса определения расчетной температуры окружающего воздуха, необходимого для выбора материалов корпуса судов и плавучих сооружений в Арктике.

Рассмотрим также ряд публикаций, посвященных определению температуры окружающего воздуха в регионе Балтийского моря.

Результаты фундаментальных исследований изменения климатических параметров представлены, например, в статьях A. Rutgersson et al. [17], И.А. Захарчука и др. [18]. На основе данных долговременных измерений температуры воздуха сделан вывод о наблюдаемых в регионе процессах потепления, получены численные оценки скорости потепления в различных районах. В статье Ж.Ш. Стонт и Т.В. Букановой [19] выполнен анализ изменения среднемесячной температуры воздуха в юго-восточной части Балтийского моря в период 2004 — 2017 гг., при этом использовались данные метеостанции, размещенной на морской стационарной платформе, удаленной от береговой линии.

В статье K. Tikka et al. [20] проведены параллели между особенностями эксплуатации нефтеналивных судов в условиях Арктики и в условиях Балтийского моря в зимний период, подчеркивается необходимость учета низкой температуры окружающего воздуха. Приведены краткие результаты сопоставления требований нормативных документов, применимых для условий Арктики и условий Балтийского моря в зимний период.

Учитывая вышеизложенное, в рамках настоящего исследования выполнены расчеты температуры окружающего воздуха в соответствии с требованиями Правил классификации и постройки морских судов РС [1] и Унифицированным требованием МАКО S6 [2]. Искомыми являются следующие значения температуры:  $T_A$ , LMDAT, LMDLT. Рассматриваются два района эксплуатации: восточная часть Балтийского моря (Финский залив) и район СМП. В качестве исходных данных для расчетов использовалась открытая база данных температуры на сайте [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru). В рассмотренных районах эксплуатации выделены несколько «точек наблюдения» — географических объектов, для каждого из которых на сайте определена метеостанция и доступен архив замеров температуры окружающего воздуха в течение необходимого для расчета периода: с 2013 г. по 2024 г.

В статье приведены как окончательные результаты расчета параметров  $T_A$ , LMDAT, LMDLT для точек наблюдения, так и промежуточные результаты. Для каждых суток в течение рассматриваемого зимнего периода получены значения  $T_A^D$  — минимальной среднесуточной температуры воздуха, отмеченной за пятилетний период эксплуатации на каждые сутки зимы, а также значения MDAT и MDLT. Получены значения DLT (Daily Low Temperature), то есть минимальные зафиксированные значения температуры в течение каждых суток за все время наблюдения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для восточной части Балтийского моря (Финского залива) выбраны следующие точки наблюдения: Усть-Нарва, Озерки, Выборг, Котка, Руссаро, Турку. Положение точек наблюдения на географической карте показано на рис. 1, информация о соответствующих метеостанциях приведена в табл. 1. На рис. 2 и 3 приведены примеры распределения значений DLT, MDAT, MDLT и TDA для точек Усть-Нарва и Выборг. В табл. 2 приведены результаты обработки полученных данных, приведены окончательные результаты расчета для всех точек наблюдения.

Таблица 1

Индекс метеорологических станций для точек наблюдения в восточной части Балтийского моря	
Наименование точки наблюдения	Индекс метеорологической станции
Усть-Нарва	BMO 26058
Озерки	BMO 22897
Выборг	BMO 22892
Котка	BMO 02967
Руссаро	BMO 02982
Турку	METAR EFTU

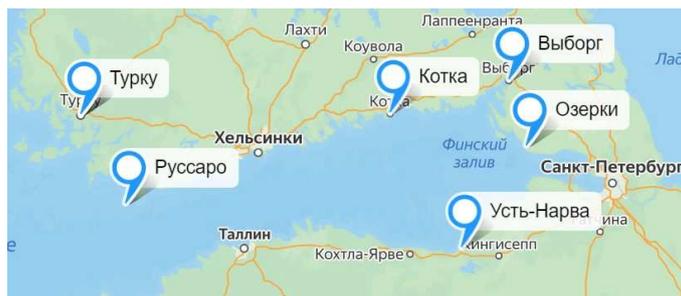


Рис. 1. Точки наблюдения в восточной части Балтийского моря (Финский залив)

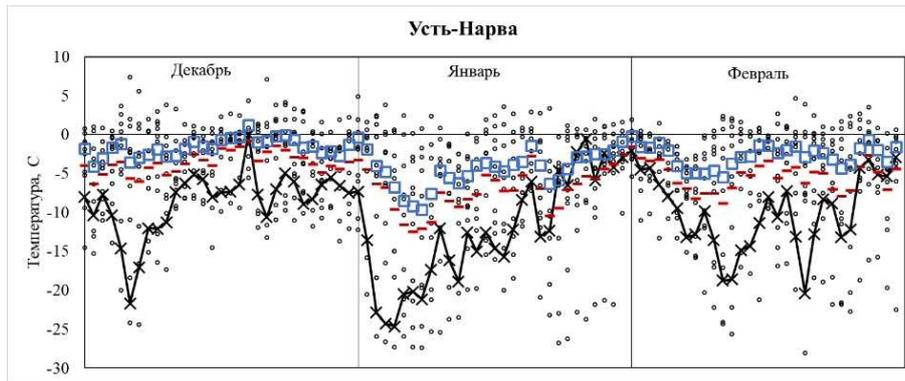


Рис. 2. Температура в точке наблюдения Усть-Нарва:

● — DLT; — MDLT; □ — MDAT; × —  $T_A^D$

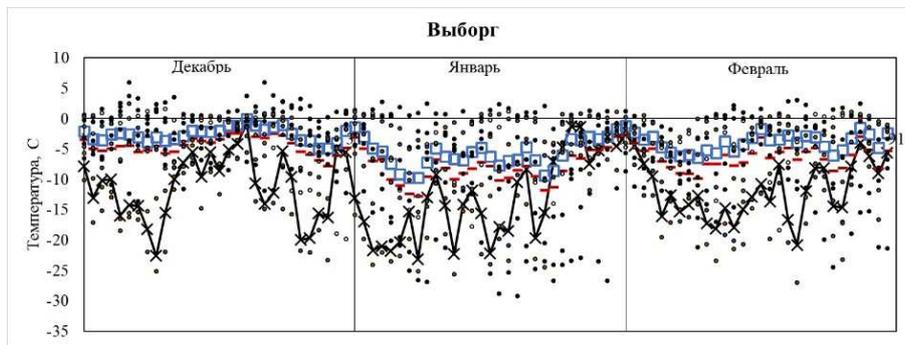


Рис. 3. Температура в точке наблюдения Выборг:

● — DLT; — MDLT; □ — MDAT; × —  $T_A^D$

Таблица 2

Результаты расчета температуры для точек наблюдения в восточной части Балтийского моря

Точка наблюдения	Обозначение температуры	Минимальное за месяц			Минимальное за сезон	
		Декабрь	Январь	Февраль		
Усть-Нарва	DLT	-24,4	-27,4	-28,1	LDLT	-28,1
	MDAT	-4,1	-9,6	-5,4	LMDAT	-9,6
	MDLT	-6,3	-12,4	-8,7	LMDLT	-12,4
	$T_A^D$	-21,7	-24,6	-20,3	$T_A$	-24,6
Озерки	DLT	-21,7	-27,2	-25,5	LDLT	-27,2
	MDAT	-3,7	-9,5	-6,3	LMDAT	-9,5
	MDLT	-6,0	-11,9	-9,2	LMDLT	-11,9
	$T_A^D$	-17,8	-22,1	-18,3	$T_A$	-22,1
Выборг	DLT	-25,1	-29,2	-27,0	LDLT	-29,2
	MDAT	-4,8	-9,7	-6,4	LMDAT	-9,7
	MDLT	-7,7	-12,7	-9,8	LMDLT	-12,7
	$T_A^D$	-22,5	-23,1	-20,8	$T_A$	-23,1
Котка	DLT	-16,4	-23,7	-21,5	LDLT	-23,7
	MDAT	-1,5	-6,2	-4,5	LMDAT	-6,2
	MDLT	-3,7	-7,7	-6,8	LMDLT	-7,7
	$T_A^D$	-13,0	-16,4	-16,4	$T_A$	-16,4
Руссаро	DLT	-13,0	-18,5	-17,2	LDLT	-18,5
	MDAT	-0,3	-5,2	-2,5	LMDAT	-5,2
	MDLT	-1,9	-7,3	-4,6	LMDLT	-7,3
	$T_A^D$	-10,6	-13,9	-13,1	$T_A$	-13,9
Турку	DLT	-22,0	-27,0	-22,0	LDLT	-27,0
	MDAT	-3,1	-8,6	-5,0	LMDAT	-8,6
	MDLT	-6,0	-12,3	-9,0	LMDLT	-12,3
	$T_A^D$	-19,9	-21,3	-16,0	$T_A$	-21,3

По результатам выполненного исследования можно сделать нижеследующие выводы.

Во всех рассмотренных точках наблюдения температура  $T_A$  оказалась ниже, чем температуры LMDAT, абсолютная разница в значениях составляет от 10 °С до 15 °С, в среднем 12,8 °С.

Во всех рассмотренных точках наблюдения значение температуры  $T_A$  ближе к значению расчетной температуры воздуха, которая регламентируется нормативными документами Финско-шведской МА [6], чем к LMDAT. При этом наиболее серьезными по условиям охлаждения оказываются районы точек наблюдения Усть-Нарва и Выборг со значениями  $T_A = -24,6$  °С и  $T_A = -23,1$  °С соответственно. В обоих случаях значение температуры оказалось больше, чем указанное в требованиях [6] значение  $-30$  °С, что характеризует в целом консервативную оценку температуры в требованиях [6] и может быть объяснено распространением требований также на северную часть Балтийского моря.

Применение значений  $T_A$ , указанных выше, для судов для транспортировки СПГ, предназначенных для эксплуатации в восточной части Балтийского моря, позволит автоматически выполнить требования Береговой охраны США по расчетной температуре окружающего воздуха, за исключением территориальных вод Аляски.

Для района СМП определены следующие точки наблюдения: Териберка, Тамбей, Диксон, мыс Челюскин, Хатанга, Тикси, Певек. Положение точек наблюдения на географической карте показано на рис. 4, информация о соответствующих метеорологических станциях приведена в табл. 3. На рис. 5 — 7 приведены примеры распределения значений DLT, MDAT, MDLT и  $T_A^D$  для нескольких точек: Диксон, Хатанга, Тикси. В табл. 4 приведены результаты обработки полученных данных и окончательные результаты расчета.

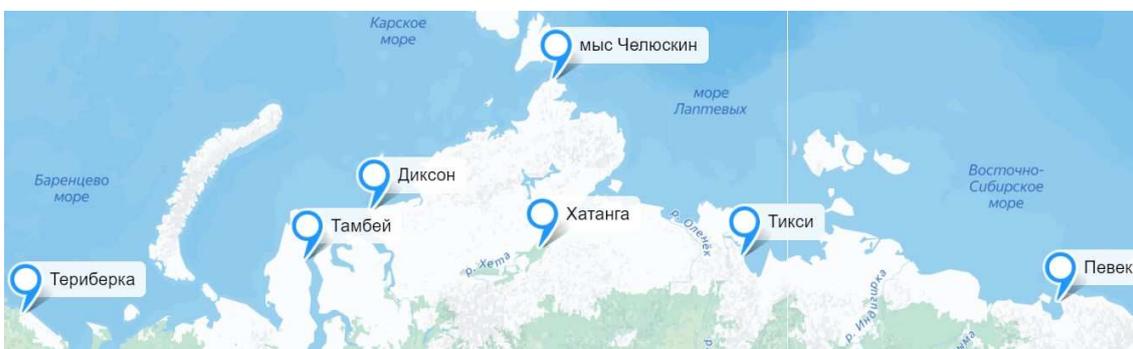


Рис. 4. Точки наблюдения на СМП

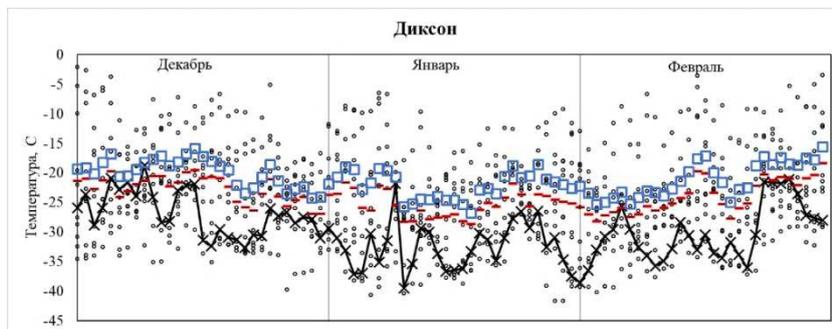


Рис. 5. Температура в точке наблюдения Диксон:

○ — DLT; — MDLT; □ — MDAT; × —  $T_A^D$

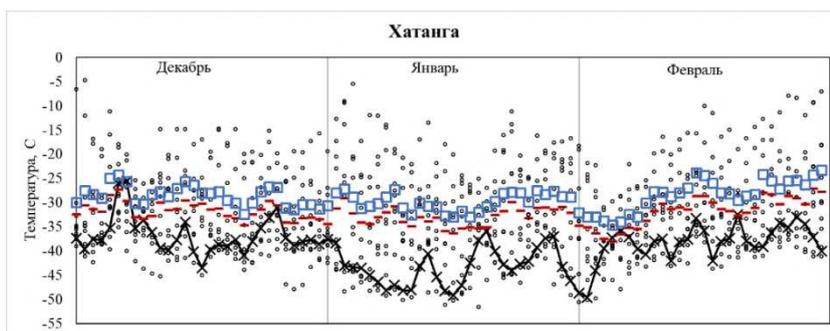


Рис. 6. Температура в точке наблюдения Хатанга:

○ — DLT; — MDLT; □ — MDAT; × —  $T_A^D$

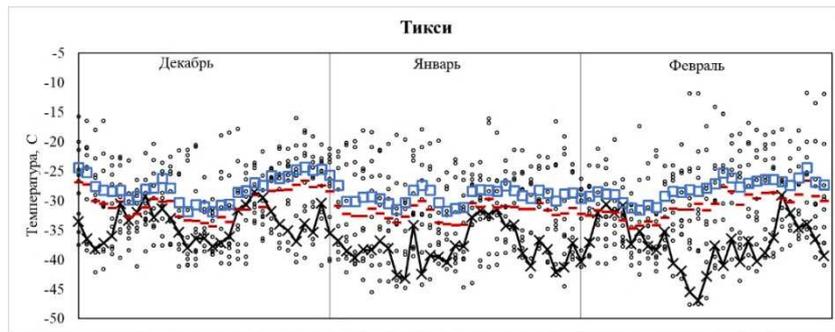


Рис. 7. Температура в точке наблюдения Тикси:  
 ○ — DLT; — MDLT; □ — MDAT; × —  $T_A^D$

Таблица 3

**Индекс метеорологических станций для точек наблюдения в восточной части Балтийского моря**

Наименование точки наблюдения	Индекс метеорологической станции
Териберка	BMO 22028
Тамбей	BMO 20864
Диксон	BMO 20674
мыс Челюскин	BMO 20292
Хатанга	BMO 20891
Тикси	BMO 21824
Певек	BMO 25051

Таблица 4

**Результаты расчета температуры для точек наблюдения в районе СМП**

Точка наблюдения	Обозначение температуры	Минимальное за месяц			Минимальное за сезон	
		Декабрь	Январь	Февраль		
Териберка	DLT	-17,7	-23,4	-25,7	LDLT	-25,7
	MDAT	-7,3	-9,2	-9,9	LMDAT	-9,9
	MDLT	-9,0	-12,2	-12,1	LMDLT	-12,2
	$T_A^D$	-16,1	-19,0	-23,5	$T_A$	-23,5
Тамбей	DLT	-35,9	-40,0	-39,3	LDLT	-40,0
	MDAT	-22,9	-27,8	-25,2	LMDAT	-27,8
	MDLT	-26,9	-31,5	-29,6	LMDLT	-31,5
	$T_A^D$	-35,2	-37,9	-36,6	$T_A$	-37,9
Диксон	DLT	-39,7	-41,6	-40,2	LDLT	-41,6
	MDAT	-24,3	-26,8	-25,3	LMDAT	-26,8
	MDLT	-26,9	-28,6	-28,1	LMDLT	-28,6
	$T_A^D$	-32,7	-39,5	-36,1	$T_A$	-39,5
мыс Челюскин	DLT	-35,6	-39,5	-39,0	LDLT	-39,5
	MDAT	-24,5	-28,7	-25,9	LMDAT	-28,7
	MDLT	-27,3	-31,3	-28,9	LMDLT	-31,3
	$T_A^D$	-32,9	-37,6	-35,7	$T_A$	-37,6
Хатанга	DLT	-47,9	-51,5	-49,8	LDLT	-51,5
	MDAT	-32,4	-33,0	-34,7	LMDAT	-34,7
	MDLT	-34,6	-36,3	-38,0	LMDLT	-38,0
	$T_A^D$	-43,5	-49,6	-44,1	$T_A$	-49,6
Тикси	DLT	-42,1	-45,5	-47,6	LDLT	-47,6
	MDAT	-31,8	-31,7	-31,6	LMDAT	-31,8
	MDLT	-34,3	-34,2	-34,7	LMDLT	-34,7
	$T_A^D$	-38,2	-43,2	-46,9	$T_A$	-46,9
Певек	DLT	-39,5	-42,0	-40,6	LDLT	-42,0
	MDAT	-27,4	-29,7	-27,8	LMDAT	-29,7
	MDLT	-29,9	-32,2	-30,5	LMDLT	-32,2
	$T_A^D$	-35,9	-37,3	-39,0	$T_A$	-39,0

По результатам проведенного исследования можно сделать нижеследующие выводы.

Во всех рассмотренных точках наблюдения температура  $T_A$  оказалась ниже, чем температуры LMDAT, абсолютная разница в значениях составляет от 9 °C до 15 °C, в среднем 12,1 °C.

Точки наблюдения на СМП целесообразно разделить на группы:

- Западный сектор (Териберка, Тамбей, Диксон, мыс Челюскин);
- Восточный сектор (Тикси, Певек);
- устье северных рек (Хатанга).

Для Западного сектора наиболее суровым по условиям охлаждения оказался район точки наблюдения Диксон со значением расчетной температуры воздуха  $T_A = -39,5$  °C.

Для Восточного сектора наиболее суровым по условиям охлаждения оказался район точки наблюдения Тикси со значением расчетной температуры воздуха  $T_A = -46,9$  °C.

Среди всех рассмотренных точек наблюдения на СМП наиболее суровой по условиям охлаждения оказалась точка наблюдения Хатанга со значением расчетной температуры воздуха  $T_A = -49,6$  °C.

Принимая во внимание, что ПРТ в нормативных документах [3] определяется в зависимости от значения LMDLT, представляет интерес соотношение значений LMDLT и  $T_A$  для районов СМП. Полученные результаты показывают, что для всех точек наблюдения абсолютное значение разности температур находится в пределах от 6 °C до 12 °C, в среднем 9,5 °C. Таким образом, результаты расчетов показали, что значение ПРТ для рассмотренных районов в среднем находится близко к значению  $T_A$ .

Для содействия процессу проектирования судов и развития нормативных документов целесообразно получить устойчивые значения расчетной температуры, которые в меньшей степени зависели бы от истории предыдущих измерений. Устойчивые значения температуры могут быть получены, если искомое значение температуры в районе эксплуатации рассматривать как случайную величину. Тогда характерные устойчивые значения можно получить с применением аппарата теории вероятностей и математической статистики. В рамках настоящего исследования рассмотрим температуру MDLT,  $T_A^D$  и MDAT в течение трех зимних месяцев как стационарную случайную величину. Примем гипотезу о том, что рассматриваемая величина во всех трех случаях распределяется по нормальному закону, при котором плотность вероятности  $p(t)$  выражается в общем виде следующим образом:

$$p(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где  $t$  — случайная величина температуры;  
 $\sigma$  — стандартное отклонение случайной величины;  
 $\mu$  — оценка математического ожидания случайной величины.

Приняв гипотезу о нормальном распределении температуры, можно воспользоваться известным свойством закона о том, что 68 % значений рассматриваемой случайной величины попадают в интервал  $\mu \pm \sigma$ , 96 % значений попадают в интервал  $\mu \pm 2\sigma$ , а интервал  $\mu \pm 2\sigma$  практически определяет наибольшее значение рассматриваемой величины.

Следует рассмотреть вопрос о том, какой из указанных выше интервалов следует использовать для оценки максимального значения температуры окружающего воздуха. В рамках настоящего исследования будем ориентироваться на методы, которые использовались специалистами ИМО при разработке Полярного кодекса [10], то есть расчетное значение оценивать по интервалу  $\mu \pm 2\sigma$ .

Для проверки справедливости дальнейшего применения гипотезы о нормальном распределении значений температуры были построены графики нормальной вероятности для рассмотренных точек наблюдения. На рис. 8 — 12 приведены примеры графика нормальной вероятности для нескольких точек. Графики нормальной вероятности для каждой искомой температуры получены на базе 90 значений температуры. Вывод о справедливости нормального закона распределения в данном случае выполняется на основе качественной оценки: следует оценить, насколько хорошо точки на графике располагаются вдоль прямой линии.

По результатам качественной оценки нельзя сделать однозначный вывод о справедливости применения нормального закона распределения, так как в отдельных случаях наблюдаются отклонения от прямой. Однако в рамках настоящей статьи для инженерной оценки значений применяется допущение о нормальном распределении, величина погрешности является предметом дальнейшего исследования. Данный подход характеризует полученное решение только как первое приближение.

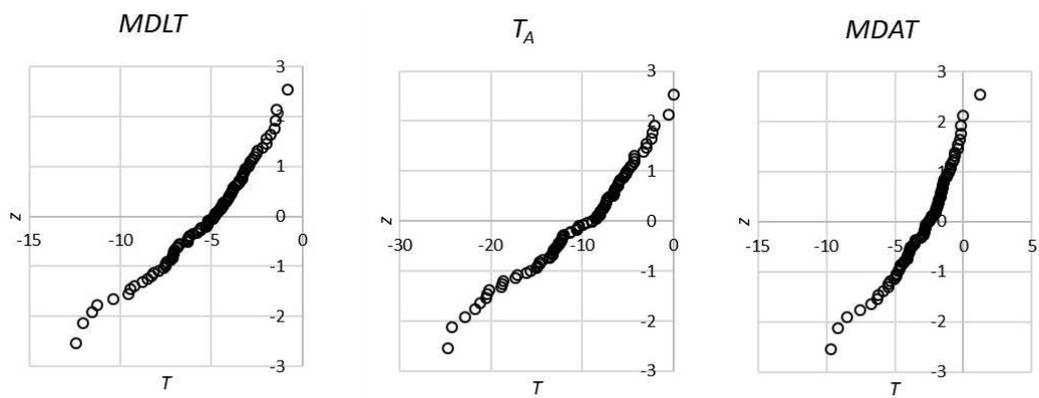


Рис. 8. График нормальной вероятности для точки наблюдения Усть-Нарва

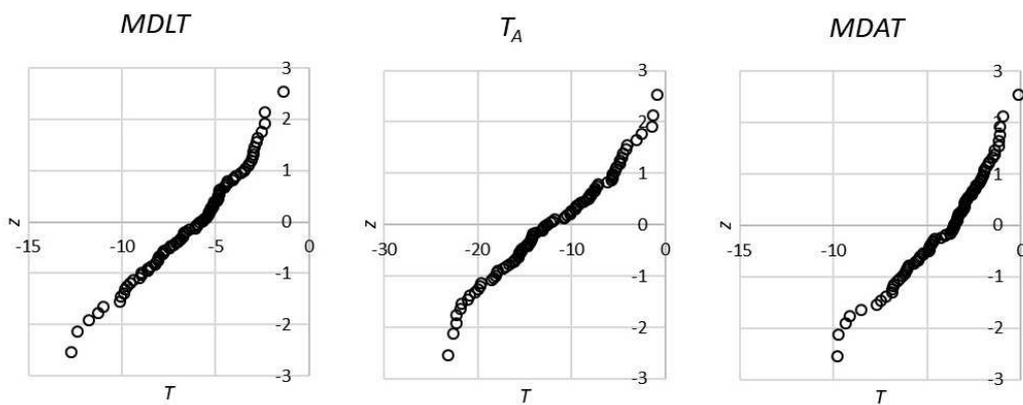


Рис. 9. График нормальной вероятности для точки наблюдения Выборг

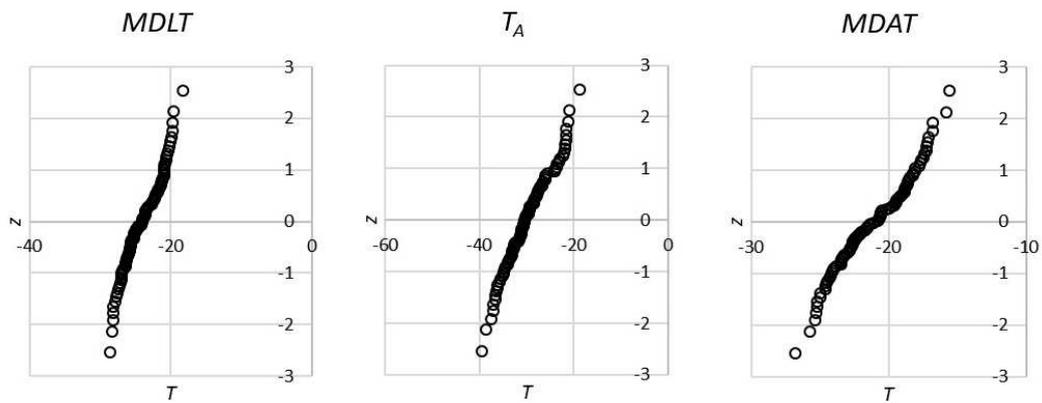


Рис. 10. График нормальной вероятности для точки наблюдения Диксон

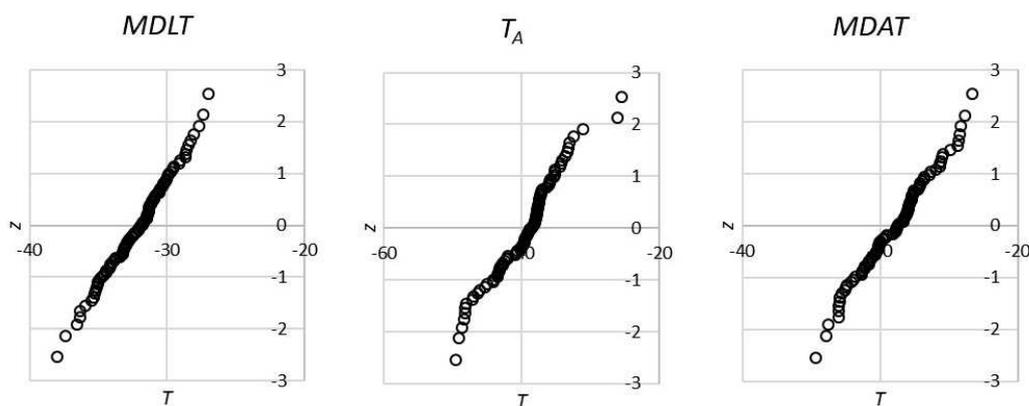


Рис. 11. График нормальной вероятности для точки наблюдения Хатанга

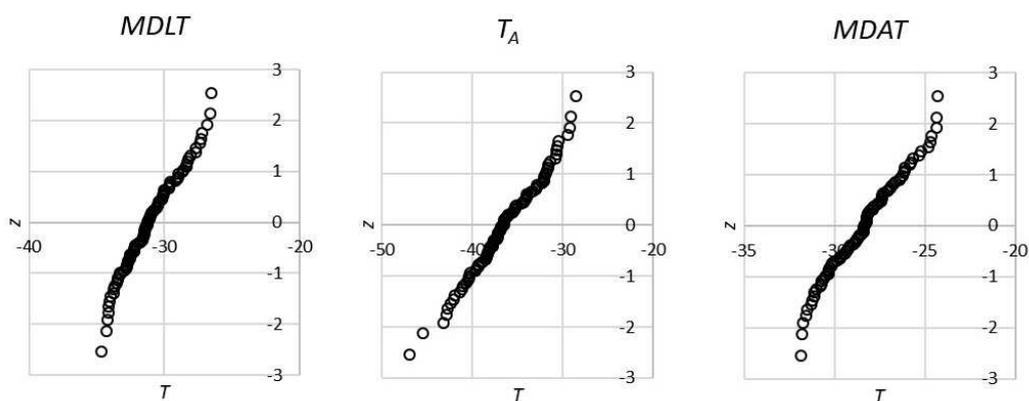


Рис. 12. Параметры нормального закона для точки наблюдения Тикси

Таблица 5

Оценка параметров нормального закона для точек в районе Балтийского моря

Точка наблюдения	Параметры закона					
	MDLT		$T_A$		MDAT	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Усть-Нарва	-5,3	2,5	-10,3	5,6	-2,9	2,1
Озерки	-5,5	2,6	-10,9	5,6	-3,5	2,1
Выборг	-1,8	1,8	-5,8	3,9	-0,1	1,6
Котка	-3,5	1,9	-7,3	4,6	-1,8	1,8
Турку	-5,1	2,3	-9,7	5,4	-2,2	1,9
Руссаро	-1,8	1,8	-5,8	3,9	-0,1	1,6

Таблица 6

Оценка параметров нормального закона для точек в районе СМП

Точка наблюдения	Параметры закона					
	MDLT		$T_A$		MDAT	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Териберка	-8,0	1,9	-12,3	3,9	-6,0	1,7
Тамбей	-22,4	3,5	-28,5	6,1	-18,9	3,8
Диксон	-23,9	2,6	-29,8	4,8	-21,1	2,7
мыс Челюскин	-25,5	2,2	-29,6	3,8	-22,9	2,2
Хатанга	-32,1	2,4	-39,4	4,7	-28,9	2,6
Тикси	-31,0	2,0	-36,3	3,9	-28,3	1,9
Певек	-26,2	3,4	-31,6	4,1	-23,4	3,6

Полученные значения математического ожидания  $\mu$  и стандартного отклонения  $\sigma$  для точек наблюдения в районе Балтийского моря приведены в табл. 5, а для точек наблюдения в районе СМП — в табл. 6.

В табл. 7 приведены оценки минимальных значений температуры для точек наблюдения в Балтийском море, а в табл. 8 — для точек наблюдения на СМП, полученные с применением вероятностных методов.

Таблица 7

Оценка минимальных значений температуры для точек наблюдения  
в восточной части Балтийского моря на основе вероятностных методов

Точка наблюдения	Оценка минимальных значений								
	$\mu - \sigma$			$\mu - 2\sigma$			$\mu - 3\sigma$		
	LMDLT	$T_A$	LMDAT	LMDLT	$T_A$	LMDAT	LMDLT	$T_A$	LMDAT
Усть-Нарва	-7,8	-15,9	-4,9	<b>-10,3</b>	<b>-21,5</b>	<b>-7,0</b>	-12,9	-27,2	-9,1
Озерки	-8,0	-16,5	-5,6	<b>-10,6</b>	<b>-22,5</b>	<b>-7,8</b>	-13,2	-27,8	-9,9
Выборг	-8,7	-17,8	-6,2	<b>-11,2</b>	<b>-23,5</b>	<b>-8,4</b>	-13,8	-29,3	-10,6
Котка	-5,5	-11,9	-3,6	<b>-7,4</b>	<b>-16,4</b>	<b>-5,3</b>	-9,4	-21,0	-7,1
Турку	-7,4	-15,0	-4,1	<b>-9,7</b>	<b>-20,4</b>	<b>-6,0</b>	-12,1	-25,8	-8,0
Руссаро	-3,5	-9,6	1,6	<b>-5,3</b>	<b>-13,5</b>	<b>-3,2</b>	-7,1	-17,4	-4,9

Таблица 8

Оценка минимальных значений температуры для точек наблюдения  
в районе СМП на основе вероятностных методов

Точка наблюдения	Оценка минимальных значений								
	$\mu - \sigma$			$\mu - 2\sigma$			$\mu - 3\sigma$		
	LMDLT	$T_A$	LMDAT	LMDLT	$T_A$	LMDAT	LMDLT	$T_A$	LMDAT
Териберка	-9,9	-16,1	-7,6	<b>-11,8</b>	<b>-20,0</b>	<b>-9,4</b>	-13,7	-23,9	-11,2
Тамбей	-25,9	-34,6	-22,7	<b>-29,5</b>	<b>-40,7</b>	<b>-26,4</b>	-33,1	-46,9	-30,2
Диксон	-26,6	-34,6	-23,8	<b>-29,2</b>	<b>-39,3</b>	<b>-26,5</b>	-31,8	-44,1	-29,2
мыс Челюскин	-27,7	-33,4	-25,1	<b>-29,9</b>	<b>-37,2</b>	<b>-27,3</b>	-32,0	-40,9	-29,5
Хатанга	-34,5	-44,1	-31,5	<b>-36,9</b>	<b>-48,9</b>	<b>-34,1</b>	-39,2	-53,6	-36,7
Тикси	-33,0	-40,2	-30,3	<b>-35,0</b>	<b>-44,0</b>	<b>-32,2</b>	-37,1	-47,9	-34,2
Певек	-29,6	-35,6	-26,9	<b>-33,0</b>	<b>-39,7</b>	<b>-30,5</b>	-36,5	-43,8	-34,1

По результатам проведенного исследования можно сделать нижеследующие выводы.

Для наиболее охлаждаемой точки наблюдения в восточной части Балтийского моря — точка наблюдения Выборг — получено значение  $T_A = -23,5$  °С. Для Западного сектора СМП в наиболее охлаждаемой точке наблюдения — Тамбей — получено значение  $T_A = -40,7$  °С. Для Восточного сектора СМП в наиболее охлаждаемой точке наблюдения — Тикси — получено значение  $T_A = -44,0$  °С. Для точки наблюдения Хатанга — точка наблюдения в устье северных рек — получено значение  $T_A = -48,9$  °С.

Следует также, что рассмотренный метод расчета позволяет сохранить соотношения значений  $T_A$ , LMDAT, LMDAT и ПРТ, полученные ранее по результатам анализа климатической базы данных при строгом применении требований нормативных документов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведен анализ требований классификационных обществ и МА по выбору расчетной температуры окружающего воздуха, которую необходимо использовать при выборе стали для корпусных конструкций. Рассмотрены методы, основанные на анализе данных измерений температуры в рассматриваемом районе эксплуатации; минимальные требования в зависимости от ледового класса судна; а также требования МА, которые конкретизируют значение расчетной температуры воздуха. Выполнен обзор публикаций по теме исследования.

Проведены расчеты температуры окружающего воздуха в соответствии с требованиями РС и МАКО. Расчеты проведены на основе открытой базы климатических данных за период с 2013 г. по 2024 г. Рассмотрены условия эксплуатации в зимний период в двух акваториях: восточная часть Балтийского моря

(Финский залив) и Северный морской путь. Полученные значения температуры сопоставлены между собой, а также с применимыми требованиями МА.

Приведены результаты применения методов теории вероятностей и математической статистики для определения расчетной температуры окружающего воздуха в рассматриваемых акваториях. Принимается гипотеза о нормальном распределении значения температуры, получены параметры нормального закона для всех рассмотренных точек наблюдения. На основе полученных параметров получены оценки расчетной температуры на основе вероятностных методов.

В рамках представленного исследования рассматривались только вопросы определения окружающего воздуха в районе конкретных географических объектов в зимний период. Поэтому в качестве дальнейших направлений исследования целесообразно в первую очередь расширить номенклатуру расчетов до всего календарного года, что позволит определять расчетную температуру в зависимости от сезона навигации. Также целесообразно дополнить результаты исследования анализом фактической интенсивности судоходства в рассматриваемых акваториях в зависимости от сезона навигации.

В направлении вероятностной оценки значений температуры в качестве дальнейших направлений исследования целесообразно рассмотреть задачу уточнения закона распределения расчетной температуры в зимний период.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть II. Корпус / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2025. [Электронный ресурс] URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=A011D0A4-F22C-4505-A3C4-332156964EDF&f=2-020101-174-2> (дата обращения 06.03.2025).
2. UR S6 Use of Steel Grades for Various Hull Members — Ships of 90 m in Length and Above, Rev.9 Corr.2 Nov 2021 / International Association of Classification Societies. [Электронный ресурс] URL: <https://iacs.s3.af-south-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/05/18114147/ur-s6rev9corr2.pdf> (дата обращения 23.11.2024).
3. Руководство по применению положений Международного кодекса для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярного кодекса) / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2020. [Электронный ресурс] URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=735E29AC-610F-4D5C-9A50-7A70A9C2BE18&f=2-030101-031> (дата обращения 23.11.2024).
4. Resolution MSC.370(93). Amendments to the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), 2014. [Электронный ресурс] URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370\(93\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370(93).pdf) (дата обращения 13.08.2023).
5. Правила классификации и постройки судов для перевозки сжиженных газов наливом. Часть IV. Хранение груза / Российский морской регистр судоходства. — СПб., 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument2?type=rules3&d=8E3390C1-F159-4EFE-B13E-8C6579548659&f=2-020101-176-4> (дата обращения 06.03.2025).
6. Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules. TRAFI/708629/03.04.01/2018, 2019.
7. Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 2014. [Электронный ресурс] URL: [https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Helsinki-Convention\\_July-2014.pdf](https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Helsinki-Convention_July-2014.pdf) (дата обращения 23.11.2024).
8. Revised HELCOM Recommendation 25/7, 2016. Baltic Marine Environment Protection Commission. [Электронный ресурс] URL: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Rec-25-7.pdf> (дата обращения 23.11.2024).
9. US Coast Guard. 46 CFR § 154.176 — Longitudinal contiguous hull structure. [Электронный ресурс] URL: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/46/154.176> (дата обращения 23.11.2024).
10. Development of a Mandatory Code for Ships Operating in Polar Waters. Statistical data on temperature in polar and sub-polar regions. SDC 1/INF.12. International Maritime Organization, 2013.
11. Bridges R. A study on the specification of minimum design air temperature for ships and offshore structures / R. Bridges, K. Riska, L. Lu, M. du Couedic-de-Kererant et al. // Ocean Engineering. — 2018. — Vol. 160. — P. 478 — 489.
12. Филин В.Ю. Обоснование требований МАКО и Регистра к выбору материалов корпусных конструкций, эксплуатируемых при низких климатических температурах. Часть 1. Сопротивление старту трещины / В. Ю. Филин, А.В. Ильин, А.В. Ларионов, Е.Д. Назарова // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2023. — № 72/73. — С. 48 — 58. — EDN AJUOKJ.
13. Карандашева Т.К. Современные тенденции изменения приземной температуры воздуха в регионе Баренцева и Карского морей / Т.К. Карандашева, Б.В. Иванов, В.И. Демин, А.Д. Ревина и др. // Российская Арктика. — 2024. — Т. 6. № 3. — С. 55 — 64. — DOI: 10.24412/2658-4255-2024-3-55-64.
14. Алексеев Г.В. Связь между сокращением морских льдов и ростом температуры воздуха в Арктике / Г.В. Алексеев, Н.Е. Харланенкова // Лед и снег. — 2024. — №1. — С. 96 — 105. — DOI: 10.31857/S2076673424010077.
15. Sulistiyono H. Estimating design temperatures in Arctic environments: A new approach / H. Sulistiyono, L.M. Lye, F.I. Khan, M. Yang et al. // 2014 OCEANS St. John's. St. John's, NL Canada. — DOI: 10.1109/OCEANS.2014.7002975.
16. Xiu Y. Estimating spatial distributions of design air temperatures for ships and offshore structures in the Arctic Ocean / Y. Xiu, Q. Wang, Z. Li, G. Li et al. // Polar Science. — 2022. — Vol. 34. — DOI: 10.1016/j.polar.2022.100875.
17. Rutgersson A. Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years / A. Rutgersson, J. Jaagus, F. Schenk, M. Stendel // Climate Research. — 2014. — Vol. 61. — P. 177 — 190. — DOI: 10.3354/cr01244.
18. Захарчук Е.А. Нестационарность гидрометеорологических процессов Балтийского моря в условиях меняющегося климата / Е.А. Захарчук, Е.Н. Литина, Ю.П. Клеванцов, В.Н. Сухачев и др. // Труды Государственного океанографического института. — 2017. — № 218. — С. 6 — 62. — EDN YLMAZW.

19. Stont Z.I. General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004 — 2017 / Z.I. Stont, T.V. Bukanova // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2019. — № 3. — DOI: 10.2205/2019ES000657.
20. Tikka K. Tanker design considerations for safety and environmental protection of Arctic waters: Learning from past experience / K. Tikka, K. Riska, S. Liu // *WMU Journal of Maritime Affairs*. — 2008. — № 7. — P. 189 — 204.

## REFERENCES

1. Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships. Part II. Hull / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2025. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument?type=rules3&d=622C3FCC-4B74-4CC3-A8DA-CEDA96F19F2D&f=2-020101-174-2> (accessed 06.03.2025).
2. UR S6 Use of Steel Grades for Various Hull Members — Ships of 90 m in Length and Above, Rev.9 Corr.2 Nov 2021. International Association of Classification Societies. URL: <https://iacs.s3.af-south-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2022/05/18114147/ur-s6rev9corr2.pdf> (accessed 23.11.2024).
3. Guidelines on Application of the International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code) / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2020. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument?type=rules3&d=D06E341C-9467-4B4E-9CCD-CFD2464D91C9&f=2-030101-031> (accessed 23.11.2024).
4. Resolution MSC.370(93). Amendments to the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code), 2014. URL: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370\(93\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.370(93).pdf) (accessed 13.08.2024).
5. Rules for the Classification and Construction of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk. Part IV. Cargo Containment / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2024. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument?type=rules3&d=DF2953A4-CBA0-4DEF-BFBB-398204F28E49&f=2-020101-176-4> (accessed 06.03.2025).
6. Guidelines for the Application of the 2017 Finnish-Swedish Ice Class Rules. TRAFI/708629/03.04.01.01/2018, 2019.
7. Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 2014. URL: [https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Helsinki-Convention\\_July-2014.pdf](https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Helsinki-Convention_July-2014.pdf) (accessed 23.11.2024).
8. Revised HELCOM Recommendation 25/7, 2016. Baltic Marine Environment Protection Commission. URL: <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Rec-25-7.pdf> (accessed on 23.11.2024).
9. US Coast Guard. 46 CFR § 154.176 — Longitudinal contiguous hull structure. URL: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/46/154.176> (accessed 23.11.2024).
10. Development of a Mandatory Code for Ships Operating in Polar Waters. Statistical data on temperature in polar and sub-polar regions. SDC 1/ INF.12. International Maritime Organization, 2013.
11. Bridges R., Riska K., Lu L., du-Couedic-de-Kererant M. et al. A study on the specification of minimum design air temperature for ships and offshore structures. *Ocean Engineering*. 2018. Vol. 160. P. 478 — 489.
12. Filin V.Yu., Ilyin A.V., Larionov A.V., Nazarova E.D. Substantiation of IACS and RS requirements for the selection of hull materials for structures operated at low climatic temperatures. Part 1. Crack start resistance. *Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2023. No. 72/73. P. 48 — 58. (In Russ.)
13. Karandasheva T.K., Ivanov B.V., Demin V.I., Revina A.D. et al. Current trends in surface air temperature changes in the Barents and Kara Seas region. *Russian Arctic*. 2024. Vol. 6. No. 3. P. 55 — 64. DOI: 10.24412/2658-4255-2024-3-55-64. (In Russ.)
14. Alekseev G.V., Kharlanenkova N.E. On a relation between shrinking of sea ice coverage and climate warming in the marine Arctic. *Led i Sneg [Ice and Snow]*. 2024. Vol. 64. No. 1. P. 96 — 105. DOI: 10.31857/S2076673424010077. (In Russ.)
15. Sulistiyono H., Lye L.M., Khan F.I., Yang M. et al. Estimating design temperatures in Arctic environments: A new approach. *2014 OCEANS St. John's*. St. John's, NL Canada. DOI: 10.1109/OCEANS.2014.7002975.
16. Xiu Y., Wang Q., Li Z., Li G. et al. Estimating spatial distributions of design air temperatures for ships and offshore structures in the Arctic Ocean. *Polar Science*. 2022. Vol. 34. DOI: 10.1016/j.polar.2022.100875.
17. Rutgersson A., Jaagus J., Schenk F., Stendel M. Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years. *Climate Research*. 2014. Vol. 61. P. 177 — 190. DOI: 10.3354/cr01244.
18. Zakharchuk E.A., Litina E.N., Klevantsov Y.P., Sukhachev V.P. et al. Nonstationarity of the hydrometeorological processes in the Baltic Sea at climate changing conditions. *Trudy gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta [Transactions of the State Oceanography Institute]*. 2017. No. 218. P. 6 — 62. EDN YLMAZW. (In Russ.)
19. Stont Z.I., Bukanova T.V. General features of air temperature over coastal waters of the south-eastern Baltic Sea for 2004 — 2017. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. (3). DOI: 10.2205/2019ES000657.
20. Tikka K., Riska K., Liu S. Tanker design considerations for safety and environmental protection of Arctic waters: Learning from past experience. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2008. No. 7. P. 189 — 204.