МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО 52.17.01–2009

Методическое пособие по расчету брызгового обледенения судов

Санкт-Петербург
ААНИИ
2009

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНО Государственным учреждением «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ГУ «ААНИИ») Росгидромета

2 РАЗРАБОТЧИКИ В.А.Лихоманов, канд. техн. наук; В.В.Панов, д-р геогр. наук; А.Н.Ильчук; Н.А.Крупина

3 ОДОБРЕНО Ученым советом ГУ «ААНИИ», протокол № 4 от 13.10.2009

4 СОГЛАСОВАНО с УМЗА Росгидромета 11.11.2009

5 УТВЕРЖДЕНО Директором ГУ «ААНИИ» 25.11.2009

6 ВВЕДЕНО впервые

Содержание

Введение 1
1 Методика подготовки исходных данных
по гидрометеорологическому режиму 2
1.1 Температура воздуха 3
1.2 Ветер и волнение 5
1.3 Вероятность наличия льда на акватории 6
2 Зависимости для расчета обледенения
в детерминированной постановке 8
3 Пример расчета брызгового обледенения 11
4 Результаты расчетов 13
5 Выводы 15
Список литературы 16

1 Введение

Предлагаемый метод расчета брызгового обледенения судов в вероятностной постановке позволяет прогнозировать данное явление для любого заданного географического района для планирования безопасной эксплуатации судна в интересующий период года. Данное пособие рекомендуется судовладельцам, задачей которых является обеспечение круглогодичной эффективной и безопасной работы всех эксплуатируемых типов судов.

Брызговое обледенение морских судов классифицируется как одно из особо опасных гидрометеорологических явлений (Порядок действий, 2000). Брызговое обледенение – образование льда на предметах вследствие замерзания на них водяной пыли, переносимой штормовым ветром в больших водоемах в морозную погоду (Гляциологический словарь, 1984). Значительная масса льда, намерзшего в результате указанного явления, может приводить к резкому снижению эффективности работы судна.

Расчет обледенения по предлагаемому методу выполняется в следующем порядке. Сначала определяются все ключевые параметры гидрометеорологических условий заданного района моря, оказывающие влияние на интенсивность брызгового обледенения корпуса морских судов. К таким параметрам относятся: температура воздуха, скорость и направление ветра, высота морских волн, наличие или отсутствие ледяного покрова. На основе анализа архивных данных и опубликованных материалов определяются статистические характеристики перечисленных параметров с учетом их взаимосвязи. Результаты этого анализа принимаются в качестве основных исходных данных для расчетов.

Затем, на основании анализа уже известных методов расчета обледенения, опубликованных в научной литературе и содержащихся в нормативных документах, выбираются процедуры для расчета в детерминированной постановке. В основу расчета брызгового обледенения были положены зависимости от гидрометеорологических параметров интенсивности обледенения сооружения с вертикальной стенкой. В вычислительной процедуре дополнительно учитывается влияние на интенсивность обледенения формы корпуса морского судна и ориентации судна относительно направления ветра и распространения волн.

Для учета вероятностного характера брызгового обледенения судна используется метод имитационного стохастического моделирования. По

статистическим характеристикам параметров гидрометеорологического режима моделируются внешние воздействия (температура воздуха, скорость и направление ветра, высота волн, наличие ледяного покрова). Для каждого дня эксплуатации морского судна в заданном районе моря определяется возможность образования обледенения. В случае появления обледенения рассчитываются параметры намерзшего льда (масса, координаты центра тяжести). Для получения надежных статистических характеристик обледенения моделируется не менее 100 лет эксплуатации судна. Детали вычислительной процедуры представлены в п. 3. Обобщение результатов расчета брызгового обледенения содержится в п. 4.

Выполненный анализ с ошибкой в безопасную сторону основывается на предположении, что все конструктивные элементы корпуса судна имеют температуру поверхности, равную температуре окружающего воздуха. В то же время можно ожидать, что часть строений за счет внутреннего обогрева будет иметь температуру поверхности, превышающую температуру кристаллизации воды, и на них отложение льда не происходит. Однако авторы не располагают какой-либо информацией такого рода и не могли учесть этот фактор в данной методике. Поэтому считается, что какие-либо технические или организационные мероприятия по борьбе с обледенением отсутствуют, а уменьшение толщины льда вследствие кратковременных периодов положительных температур и солнечной радиации не учитываются.

2 Методика подготовки исходных данных по гидрометеорологическому режиму

Предлагаемая методика моделирования брызгового обледенения основана на имитационно-стохастическом моделировании. При этом вероятностный подход применяется при моделировании гидрометеорологической обстановки. Для реализации методики необходимо смоделировать значения всех параметров (температура воздуха, скорость и направление ветра, высота волны, наличие/отсутствие ледяного покрова) для каждого дня того периода года, когда возможно обледенение. Получение более надежных статистических оценок возможно при моделировании для достаточно большого количества лет (рекомендуется выполнять расчеты не менее, чем для 1000 лет).

2.1 Температура воздуха

Брызговое обледенение на морских акваториях может происходить при температуре воздуха ниже –1,6…–1,8 °С[1] (температура замерзания морской воды) или при температуре ниже 0 °С на пресноводных акваториях. Соответственно в первую очередь для рассматриваемого района выделяется период года, когда температура воздуха отрицательная. Поскольку в отдельные годы даты устойчивого перехода через ноль градусов от положительных значений температуры к отрицательным и наоборот могут смещаться относительно средних значений на месяц и более, анализируемый период принимается с учетом экстремально низких температур.

Наиболее распространенным представлением данных наблюдений за температурой воздуха – это среднедекадные значения. Общепринятым является предположение о нормальном распределении декадных температур воздуха. Однако порой анализ опубликованных данных о температурном режиме рассматриваемых районов выявляет, что такое предположение ведет к противоречию между значениями стандартных отклонений и экстремумов температуры. Например, для района XV[2] Баренцева моря экстремальные температуры несимметричны относительно средних значений: для всех декад разность между положительными экстремальными и средними температурами меньше разности между средними и отрицательными экстремальными температурами (рисунок 2.1). Кроме того, как сезонная изменчивость стандартного отклонения, так и ее абсолютные значения противоречат сезонной изменчивости и абсолютным значениям экстремумов. В частности, стандартное отклонение температуры за первую декаду ноября в 2,5 раза больше, чем за первую декаду октября, в то время как отклонение экстремумов от среднего остается практически неизменным. Для устранения указанного противоречия при описании законов распределения декадных температур воздуха можно использовать нормальный закон, но стандартные отклонения для температуры ниже и выше средних значений следует брать разными. Значения этих стандартных отклонений находятся таким образом, чтобы по результатам моделирования экстремальные значения дневных температур за период, равный периоду наблюдений, в среднем совпадали с исходными кривыми.

---

[1] Для упрощения расчетов можно принять значение –2 °С

[2] Согласно классификации, приведенной в справочнике (Ветер и волны, 1974)

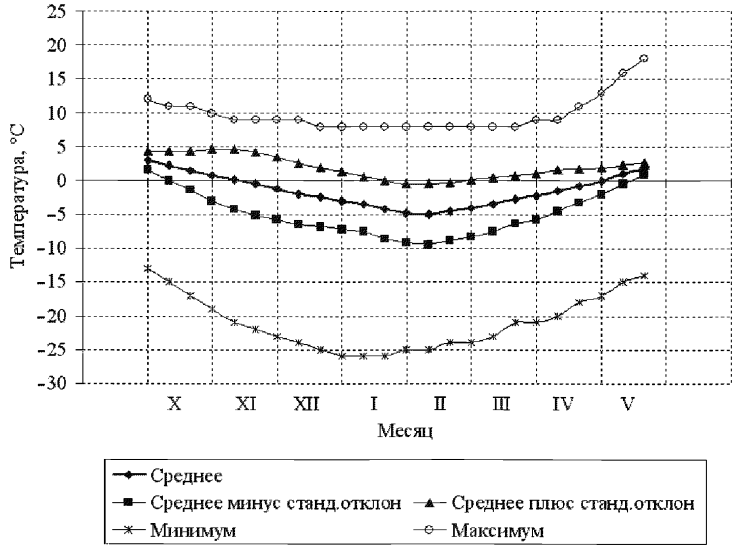

Рисунок 2.1 – Пример сезонного хода декадной температуры воздуха (средние значения и средние значения плюс/минус стандартное отклонение) и экстремальной температуры для одного из районов Баренцева моря

Для моделирования температуры воздуха применяется следующий алгоритм.

Генерируется реализация случайной величины, подчиняющейся нормальному закону распределения с нулевым средним и стандартным отклонением, равным единице, т.е. $p_j \in N(0,1)$[1].

Значение декадной температуры за k-ю декаду T_{ak} определяется как $a_k + p_j\sigma_k$, $k = 1...n_d$ (где n_d – общее количество декад в рассматриваемый период), где a_k и σ_k – средние значения и стандартные отклонения декадных температур (возможно, что значения стандартного отклонения будут различными в зависимости от знака p_j). В результате получаются значения сезонного хода декадных температур воздуха за рассматриваемый j-й год.

Шаги 1–2 повторяются для достаточного количества лет, чтобы получить надежные статистические оценки (рекомендованное количество лет – 1000).

[1] Эта величина называется параметром, характеризующим температурный режим в j-м году по причинам, понятным из описания второго шага процедуры расчета.

2.2 Ветер и волнение

Во избежание неоправданного усложнения расчетных процедур принято допущение, что направление ветра и направление волн совпадает. Как следует из морской практики, судно в штормовых условиях на чистой воде (т.е. в случаях, когда возможно брызговое обледенение) двигается с курсовым углом не более $\pm 30^{\circ}$ к направлению распространения волн. Соответственно при расчете брызгового обледенения можно не учитывать направление ветра, а ограничиться только распределением скоростей. Статистическое распределение скоростей ветра для различных периодов года обычно приводится в справочной литературе. Моделирование скоростей выполняется по соответствующим функциям распределения или при их отсутствии – по гистограммам распределения.

Одним из условий начала брызгового обледенения принимается, что средняя высота волны превышает 1/3 высоты надводного борта судна (например, для судна с высотой надводного борта 7,5 м данный параметр составит 2,5 м). Предполагается, что при меньшей высоте волны интенсивность брызгообразования мала, и обледенение не происходит. При использовании данных о совместной повторяемости скорости ветра и высоты волн, получаются вероятности отсутствия брызгообразования, достаточного для начала обледенения, в функции от скорости ветра. Пример результатов такого анализа приведен на рисунке 2.2.

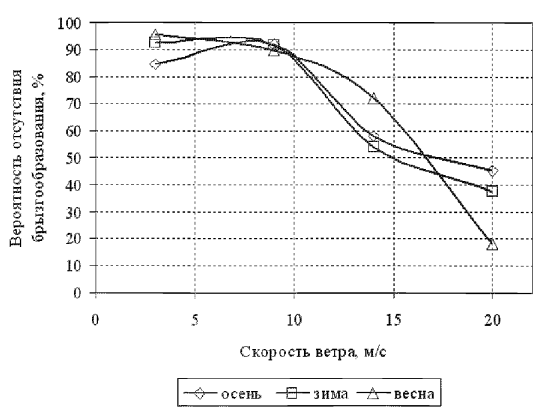

Рисунок 2.2 – Пример зависимости вероятности отсутствия брызгообразования от скорости ветра для различных сезонов года

2.3 Вероятность наличия льда на акватории

В случае, когда акватория района покрыта льдом, брызговое обледенение не происходит. Информация о ледовых условиях рассматриваемого района может быть ограничена данными о вероятности наличия льда. Однако для учета наличия льда в процедуре стохастического моделирования недостаточно данных только о вероятности наличии льда, поскольку эта величина, как и ледовитость[1], не являются независимыми случайными величинами. Одним из основных параметров, влияющих на ледовитость, является температурный режим района, который для рассматриваемого приложения целесообразно выразить в виде суммы градусо-дней мороза за год. Данная величина для произвольного периода времени определяется следующим образом:

$$S = \sum_{i=1}^{n} T_{ai} d_i \ ,$$

где T_{ai} – средняя температура воздуха в i-й день рассматриваемого периода; d_i равно 1, если $T_{ai} \le -2$ °С, и равно 0, если $T_{ai} \ge -2$ °С; n – количество дней в рассматриваемом периоде.

Многолетними наблюдениями установлена тесная связь годовой суммы градусо-дней мороза и ледовитости (коэффициент корреляции 0,8–0,85). Для того чтобы учесть влияние температуры воздуха за произвольный рассматриваемый год на вероятность наличия льда в этом году, используются результаты расчетов температуры воздуха, (по методике см. раздел 2.1). Если подставить расчетные значения температуры в вышеприведенную формулу, можно получить необходимые для последующего имитационного моделирования гистограммы распределения (примерный вид гистограммы приведен на рисунке 2.3) и связь параметра, характеризующего температурный режим, с суммой градусо-дней мороза (пример зависимости приведен на рисунке 2.4). Далее определяется регрессионная зависимость $S(p)$, аппроксимирующая функцию, приведенную на рисунке 2.4, при ее отрицательных значениях, где S – годовая сумма градусо-дней мороза, сут.·°С; p – параметр, характеризующий температурный режим.

---

[1] Ледовитость – выраженное в процентах отношение площади, занятой льдом любой сплоченности, к общей площади моря или какого-либо большого географического района. Этот район может быть глобальным, включающим площадь морей целого полушария или ограниченным какой-либо частью океана или моря, например, Баренцева моря (Международная символика, 1984).

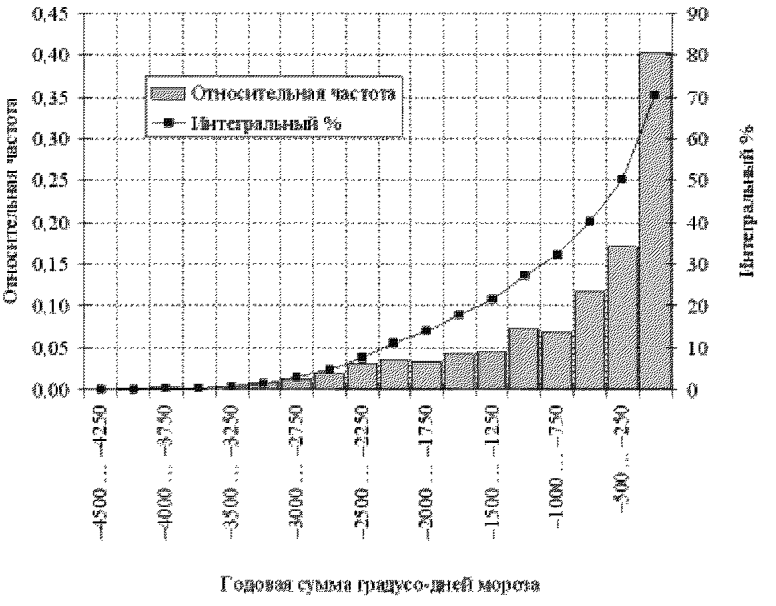

Рисунок 2.3 – Пример гистограммы распределения годовой суммы градусо-дней мороза.

В данную гистограмму включаются только те значения, когда годовая сумма градусо-дней мороза отрицательна. В остальных случаях, когда декадные температуры не опускаются ниже –2 °С, сумма градусо-дней мороза равна нулю.

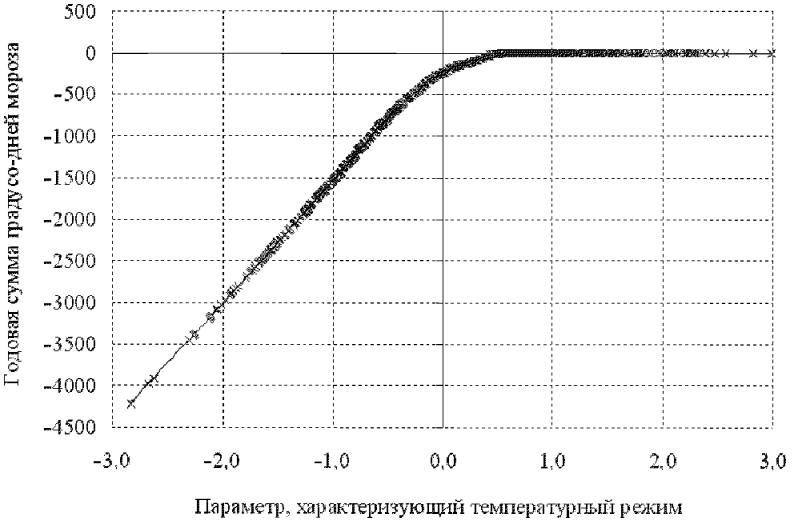

Рисунок 2.4 – Пример зависимости годовой суммы градусо-дней мороза от параметра, характеризующего температурный режим

Очевидно, что на расположение кромки льда и соответственно на вероятность наличия льда на акватории влияет не только температурный режим, но и динамика ледяного покрова. Принятая в данной методике процедура моделирования обеспечивает совпадение моделированных повторяемостей расположения кромки льда с данными наблюдений. Таким образом, автоматически учитывается влияние на расположение кромки как температурного режима рассматриваемого района, так и дрейфа льда.

3 Зависимости для расчета обледенения в детерминированной постановке

Как уже отмечалось ранее, брызговое обледенение судов определяется гидрометеорологическими условиями (скоростью ветра, температурой воздуха, характеристиками волнения) и характеристиками технического объекта (размерами, особенностями конструкции). Схема расчета брызгового обледенения выглядит следующим образом (Алексеев Ю.Н. и др., 2001).

Сначала определяется масса воды, попадающая на поверхность объекта. Для случая вертикальной поверхности, расположенной перпендикулярно потоку брызг, данная характеристика вычисляется по следующей эмпирической формуле:

$$W_1 = 1{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot V_a^{4{,}75},$$

где W_1 – масса воды, попадающая на 1 м^2 поверхности сооружения на высоте 5 м за единицу времени, кг/(м^2·ч); V_a – скорость ветра[1] на высоте 5 м, м/с.

С высотой водность брызгового облака уменьшается, и масса воды, попадающая за единицу времени на 1 м^2 вертикальной поверхности, составит

$$W_z = W_1 \cdot e^{-0{,}85z},$$

где z – высота уровня измерения над горизонталью 5 м.

Масса воды (брызг), приходящаяся на вертикальную поверхность на расстоянии l от носового перпендикуляра судна, определяется по формуле

[1] Скорость ветра используется только для расчета водности брызгового облака, которое по результатам существующих исследований зависит только от скорости ветра относительно водной поверхности, а не судна, поэтому скорость судна можно не учитывать.

$$W_l = W_1 \cdot e^{-0,1l}.$$

Из этой зависимости следует, что максимальное расстояние l_{max}, на которое брызги распространяются по длине судна, приближенно можно принять равным 50 м. На более дальнюю дистанцию приходится не более 0,1 % массы воды.

Интенсивность нарастания массы льда на вертикальной поверхности определяется как функция массы воды, попадающая на эту поверхность W_z, и температуры воздуха T_a по графикам (рисунок 3.1), представленным в работе (Алексеев Ю.Н. и др.).

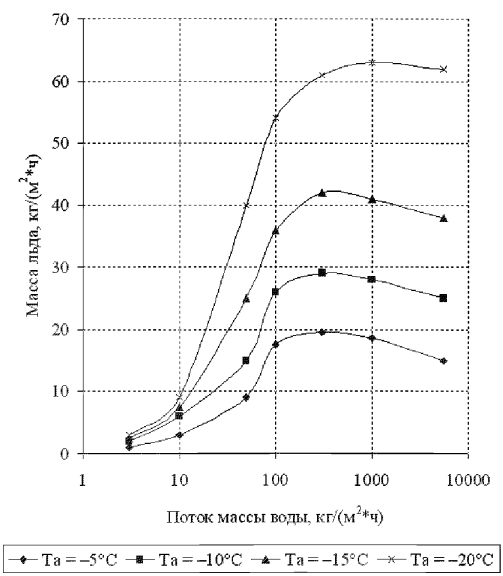

Рисунок 3.1 – Зависимость скорости нарастания льда на вертикальной стенке при брызговом обледенении от потока массы воды при различной температуре воздуха T_a

Интенсивность намерзания льда на части цилиндрической поверхности большого диаметра, обращенной к ветру и волнению, можно принять такой же, как и для вертикальной стенки. В то же время подветренная сторона цилиндрической поверхности не подвергается обледенению, поскольку брызги

на нее практически не попадают. Интенсивность образования льда на плоской поверхности, расположенной под произвольным углом к направлению ветра и распространению волн, принимается пропорциональной косинусу этого угла.

Для каждого судна поверхность корпуса, подверженная брызговому обледенению, определяется индивидуально в зависимости от его геометрии, в частности, от расположения и размеров надстроек, высоты надводного борта и т.д. Пример возможного распределения зон образования льда показан на рисунке 3.2.

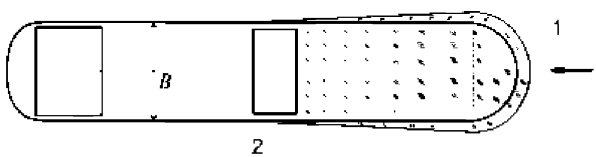

Рисунок 3.2 – Пример распределения интенсивности намерзания льда на корпусе судна (B – его ширина): 1 – по борту судна; 2 – по палубе судна

Нижняя часть борта судна, омываемая волнами, не подвержена обледенению. Поэтому для всех анализируемых типов судов принимается, что брызговое обледенение охватывает район борта, расположенный выше ватерлинии на 2/3 высоты надводного борта. Также принято, что брызгообразование, достаточное для начала обледенения, происходит при высоте волны более 1/3 высоты надводного борта.

При численной реализации расчетного метода носовая часть корпуса судна разбивается на сектор ±30° от диаметральной плоскости в плоскости горизонта и на слои высотой 1 м в вертикальном направлении. В пределах каждого сектора высотой 1 м интенсивность намерзания считается постоянной. Толщина намерзающего на борту льда принимается максимальной на участке длиной $B/2$ от форштевня, а далее уменьшается по линейному закону до 0 на расстоянии l_{max} от носового перпендикуляра.

Полагая, что для большинства архитектурных типов современных транспортных судов отдельный учет образовавшегося льда на некоторых вертикальных поверхностях конструкций выше верхней палубы на общую массу льда не влияет, а на возвышение центра тяжести данной массы влияет крайне незначительно, в расчете принимается, что на горизонтальной поверхности (палуба судна) намерзает вся оставшаяся масса воды брызгового облака выше уровня верхней палубы. Для некоторых судов, отличающихся развитой носовой надстройкой, необходимо отдельно учитывать намерзающий на ее вертикальной поверхности лед.

Масса льда, координаты его центра тяжести и моменты инерции рассчитываются по очевидным геометрическим соотношениям и зависимостям теоретической механики.

4 Пример расчета брызгового обледенения

Постановка задачи: определить массу льда, образующегося на конструкциях корпуса судна вследствие брызгового обледенения, при эксплуатации судна в заданном районе в заданный период года.

Ниже рассмотрен пример применения методики расчета брызгового обледенения, описанной в п.п. 2 и 3, для танкера, параметры которого приведены в таблице 4.1, при его навигации в XV районе Баренцева моря в декабре.

Таблица 4.1 – Параметры танкера

Характеристика	Значение
Длина наибольшая, м	144
Ширина наибольшая, м	26,5
Осадка, м	10
Высота надводного борта в носу, м	6

В первую очередь моделируются гидрометеорологические параметры в заданном районе. Для этого выполняется такая последовательность операций.

Генерируется параметр p_j, характеризующий температурный режим в декабре j-го года, как реализация случайной величины, подчиняющейся нормальному закону распределения, и определяется ход декадных температур воздуха в пределах рассматриваемой части года, т.е. в декабре (см. п. 2). Результат представлен на рисунке 4.1.

Определяется сумма градусо-дней мороза в декабре j-го года по регрессионной зависимости $S_j = f(p_j)$ и по функции распределения, пример которой приведен на рисунке 2.3, находится интегральный процент, соответствующий найденному значению суммы градусо-дней мороза. Потом значение этого интегрального процента сопоставляется с вероятностью наличия льда. Если значение интегрального процента меньше вероятности, то считается, что акватория покрыта льдом, и брызговое обледенение судна не происходит.

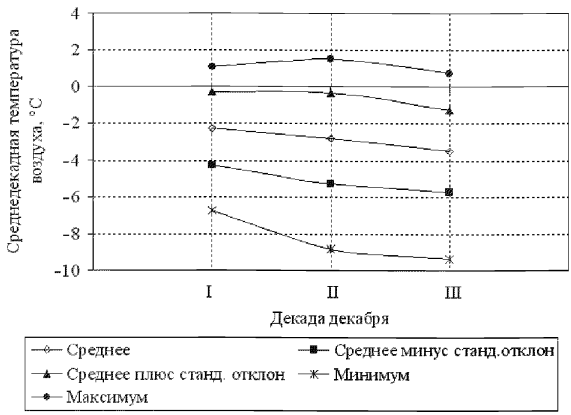

Рисунок 4.1 – Ход среднедекадных температур в декабре

Далее для каждого дня каждой декады выполняется следующий анализ. Определяется температура воздуха, и если она выше температуры замерзания морской воды, то считается, что обледенение не происходит. Если определяется, что обледенение может происходить, то генерируется реализация скорости ветра по гистограммам. Генерируется реализация случайной величины, равномерно распределенной в интервале [1, 100]. Эта реализация сопоставляется с вероятностью отсутствия брызгообразования для значения скорости ветра. Если реализация равномерно распределенной случайной величины меньше этой вероятности, то принимается, что интенсивность брызгообразования недостаточна для начала брызгового обледенения судна.

Если из условий, описанных выше, следует, что при данных условиях будет происходить обледенение (т.е. температура воздуха ниже –2 °С, акватория свободна ото льда и скорость ветра/высота волн настолько значительны, что происходит интенсивное брызгообразование), то рассчитываются масса льда, намерзшая на судне и координаты ее центра тяжести за каждый период обледенения, происходящий в данную декаду месяца.

Все перечисленные выше шаги выполняются для ряда лет, чтобы получить выборку с объемом, достаточным для получения надежных статистических оценок (на практике моделировался период продолжительностью 1000 лет).

В результате реализации данной процедуры на выходе получается выборка, содержащая для каждого дня следующую информацию:

– номер года;
– значение параметра, характеризующего температурный режим;
– дата;
– температура воздуха;
– скорость и направление ветра;
– признак, характеризующий происходило ли обледенение, и если нет, то по какой причине (температура воздуха выше температуры кристаллизации воды, акватория покрыта льдом, низкая скорость ветра/высоты волн);
– толщина льда на каждом элементе конструкции корпуса судна (на бортовой части, на палубе, на вертикальных гранях надстройки);
– масса льда на всем корпусе судна, намерзшего за период обледенения;
– координаты центра тяжести массы льда.

Для удобства последующего анализа наряду с перечисленной выше детальной информацией выводятся следующие данные на конец моделируемого периода каждой декады месяца:

– номер года;
– значение параметра, характеризующего температурный режим;
– средняя температура за моделируемый период;
– количество часов, когда происходит обледенение судна;
– количество дней, в течение которых обледенение не происходило из-за высокой температуры воздуха, т.е. температуры превышающей температуру замерзания морской воды;
– количество дней, в течение которых, хотя температура воздуха была достаточно низкая, но обледенение не происходило, поскольку акватория была покрыта льдом;
– количество дней, в течение которых, хотя температур воздуха достаточно низкая и акватория была свободна ото льда, но обледенение не происходило, поскольку скорость ветра/высоты волн была недостаточна для интенсивного брызгообразования.

5 Результаты расчетов

Анализ результатов, полученных в результате реализации процедуры имитационного стохастического моделирования, описанной в п. 4, включающей зависимости для расчетов в детерминированной постановке, изложенной в п. 3., включает следующее:

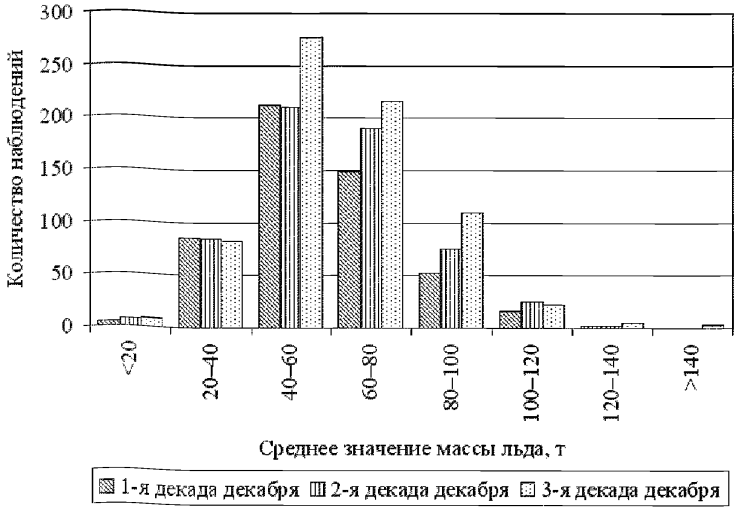

Рисунок 5.1 – Средняя масса льда, намерзшего на корпусе судна в результате брызгового обледенения

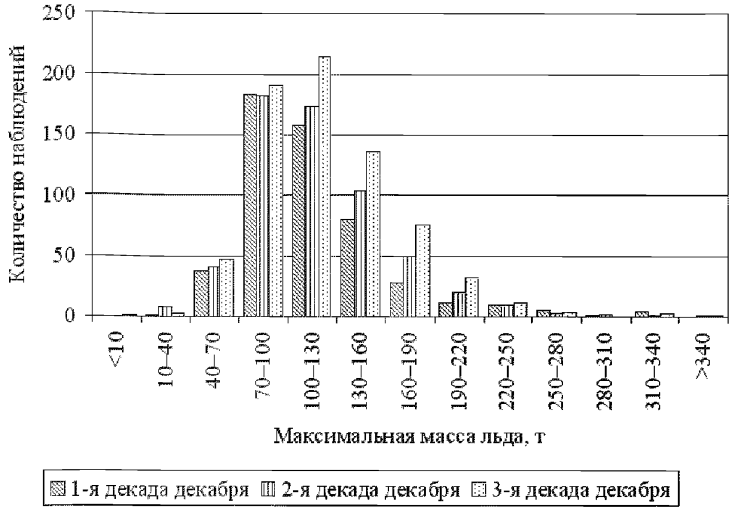

Рисунок 5.2 – Максимальная масса льда, намерзшего на корпусе судна в результате брызгового обледенения

– оценку статистических характеристик моделировавшихся параметров окружающей среды и сопоставление этих характеристик с исходными; данное сопоставление подтвердило адекватность реализованной процедуры моделирования внешних воздействий;

– построение гистограмм для массы намерзшего льда;

– определение по гистограммам среднего значения массы намерзшего льда и значения, соответствующего обеспеченности 1%;

– нахождение по регрессионным зависимостям координаты центра тяжести массы намерзшего льда, соответствующих среднему значению и обеспеченности 1 %.

Ниже представлены результаты этого анализа. На рисунках 5.1 и 5.2 показаны гистограммы распределения массы льда, намерзшего на корпусе судна в результате брызгового обледенения. Обобщенные результаты расчетов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Обобщенные результаты расчетов брызгового обледенения

Декада декабря	Количество случаев обледенения, N_{ice}		Масса льда M_{ice}, т		Аппликата центра тяжести Z_g, м		Абсцсса центра тяжести X_g, м	
	среднее	$N_{ice\,1\%}$	среднее	$M_{ice\,1\%}$	среднее	$Z_{g\,1\%}$	среднее	$X_{g\,1\%}$
I	6	10	58,0	279,1	5,4	7,6	48,8	56,2
II	6	10	61,3	252,4	5,4	7,5	49,0	55,7
III	6	10	61,8	253,2	5,4	7,5	49,1	55,7

6 Выводы

Предлагаемый метод расчета брызгового обледенения морских судов в вероятностной постановке позволяет моделировать внешние воздействия на судно, расположенное в любом заданном географическом районе, в зависимости от параметров гидрометеорологического режима и характеристик конструкции судна. Использование данного метода для каждого дня эксплуатации судна позволяет определить вероятность обледенения его конструкций и рассчитать параметры намерзшего льда: масса, координаты центра тяжести (Панов и др., 2009). Для получения надежных статистических характеристик обледенения моделируется 1000 лет эксплуатации судна, что дает объективную оценку негативных последствий указанного явления для обеспечения эффективной и безопасной морской деятельности в Арктике.

Список литературы

1. Алексеев Ю.Н., Афанасьев В.П., Литонов О.Е., Мансуров М.Н., Панов В.В., Трусков П.А. Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. СПб: Гидрометеоиздат, 2001. 356 с.

2. Ветер и волны в океанах и морях /Справочные данные. Регистр СССР. Л.: Транспорт. 1974. 359 с.

3. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 6. Баренцево море. Л.: Гидрометеоиздат. 1985. 263 с.

4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Баренцево море. Вып.1. Л.: Гидрометеоиздат. 1990. 280 с.

5. Гляциологический словарь //Под ред. В.М.Котлякова. Л.: Гидрометеоиздат. 1984. 527 с.

6. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов //Под ред. Б.А.Крутских. Л.: Гидрометеоиздат. 1984. 56 с.

7. Методические указания по предупреждению угрозы обледенения судов //Под ред. Е.П.Борисенкова, И.Г.Пчелко. Л.: ААНИИ. 1972. 81 с.

8. Обледенение судов // Труды ААНИИ. 1976. Т. 334. 263 с.

9. Панов В.В., Лихоманов В.А., Глухов В.Г., Ильчук А.Н., Крупина Н.А. Обледенение надводных инженерных сооружений в прибрежной зоне Печорского моря. // Труды ААНИИ. 2009. Т. 450. С.165–189.

10. Порядок действий организаций и учреждений Росгидромета при возникновении опасных природных (гидрометеорологических и геофизических) явлений. СПб: Гидрометеоиздат. 2000. 32 с.

gost.e-ecolog.ru