

УДК 551.462

**А.Ю. Лопатнёва, аспирант**

*Севастопольский национальный технический университет,*

*ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99053,*

*E-mail: au.lopatnyova@mail.ru*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК**

*Разработана система автоматизации формирования базы исходных данных параметров льда путем обработки спутниковых карт ледовой обстановки для условий Азово-Черноморского бассейна.*

**Ключевые слова:** *ледовая нагрузка, толщина льда, спутниковая информация, карты ледовых обстановок.*

**Введение.** Создание ледостойких сооружений различного назначения требуют нормирования параметров ледяного покрова, определяющих величину расчетной нагрузки на сооружение. Вопросы нормирования стоят наиболее остро в связи с обеспечением прочности и эксплуатационной надежности инженерных сооружений [1]. Негативность последствий некорректности определения ледовых воздействий, в дальнейшем интегрируемых для оценки надежности конструкций, очевидна – занижение расчетной ледовой нагрузки может явиться причиной нарушения работоспособности конструкции, а следовательно, экономического ущерба; завышение расчетной нагрузки – неэффективности капитальных затрат на создание сооружений [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** При расчетах ледовых нагрузок на ранних стадиях проектирования используют нормативные значения параметров льда, но единого подхода к выбору этих значений нет. Некоторые исследователи предлагают в качестве расчетных принимать максимально возможные из имеющегося ряда наблюдений величины. Другие рекомендуют в расчеты вводить наиболее вероятные значения. Последний подход наряду с учетом физической картины взаимодействия дрейфующего ледяного покрова с объектами в конкретных районах континентального шельфа представляется наиболее оправданным [3].

**Цель статьи** – разработать систему формирования базы исходных данных параметров льда, в частности толщины, путем обработки спутниковых карт ледовой обстановки для Азово-Черноморского бассейна.

**Изложение основного материала.** Современные спутниковые данные обладают рядом преимуществ по сравнению с материалами традиционных контактных океанографических исследований. Они отличаются высоким пространственно-временным разрешением, возможностью информационной засветки обширных акваторий, включая экономические зоны и территориальные воды различных государств, что не всегда доступно контактными методами. В современной океанографической литературе отсутствуют работы, где были бы обобщены сведения о льдах за этот период [4].

Азовское море находится в умеренных широтах и в целом относится к типу замерзающих морей с сезонным ледовым покровом. Оно очень мелководное. Глубина моря в открытой части не превышает 12 – 13 м. Значительная часть акватории моря ежегодно покрывается льдами, которые отслеживаются с помощью спутниковых систем.

При радиолокационном зондировании морского льда существенное значение имеет как его шероховатость, так и электрофизические характеристики, особенно диэлектрическая проницаемость [1]. Поэтому радиолокационные характеристики морского льда зависят от возраста льда, увлажненности и температуры поверхности. Для определения характеристик ледовых полей могут быть эффективно использованы данные цветковых сканеров MODIS. Для идентификации снега и льда большей части облаков используется «Нормализованный разностный индекс (NDSI)», который является мерой относительного различия характеристик отражения между сигналами видимой части спектра и ИК области. NDSI нечувствителен к широкому диапазону условий освещения, частично нормализован для атмосферных эффектов и не зависит от отражения в локальной полосе спектра.

Фактические сведения о ледовом режиме (дате образования и таяния льда, толщине и балльности, ледовитости, подвижках льда и типах зим) на современном этапе сопоставлены с климатическими данными, в результате обнаружены аномальные, не наблюдавшиеся ранее явления.

Свойства льда оказывают существенное влияние на ледовую нагрузку. Основным влияющим фактором на величину ледовой нагрузки, и необходимым для учета в практике гидротехнического строительства при автоматизации расчета является расчетная толщина льда. Основным параметром в расчете глобальных нагрузок является толщина льда  $h$ . Формулы (1)–(3) показывают, как рассчитывается глобальная нагрузка по различным принятым методикам.

$$F_{xc} = K_v [A_1 \sigma_f h^2 + A_2 \rho_{wat} g h D^2 + A_3 \rho_{wat} g p_1 h_r (D^2 - D_b^2)] A_4; \quad (1)$$

$$H_B = \frac{\sigma_f h^2}{3} \frac{\tan \alpha}{1 - \mu g_r} \left( \frac{1 + Yx \ln x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right); \quad (2)$$

$$F_{gH} = \frac{R_f h^3}{3} \frac{tg \alpha}{1 - fd(\alpha)} \left[ \frac{1 + 2.7x \ln x}{x - 1} + G(x - 1)(x + 2) \right]. \quad (3)$$

При оценке ледовой нагрузки толщина ледового покрова является случайной величиной, что приводит к существованию двух методов расчета ледовых нагрузок: полувероятностного и вероятностного [5]. Полувероятностный метод подразумевает, что параметры окружающей среды, влияющие на уровень ледовой нагрузки, известны с некоторой вероятностью. Для оценки надежности сооружения используют максимальные, но реальные значения с заданной повторяемостью величин, влияющих на нагрузку (например, в нормативных документах приводится максимальная толщина ледовых образований, которая когда-либо встречалась за период наблюдений). Данную проблему легко решить, используя вероятностный метод расчета, который учитывает все возможные сочетания параметров окружающей среды. Недостатком полувероятностного расчета является то, что он не может быть применен для расчета возможности усталостного разрушения в элементах сооружения, так как он рассматривает только определенные, наиболее опасные ситуации взаимодействия. В то время, как вероятностный метод позволяет определить с заданной обеспеченностью не только максимальные нагрузки, действующие на сооружение, но и все нагрузки, которые, вероятно, будут воздействовать на сооружение в течение его жизни.

Реальная толщина льда может быть получена по данным режимных наблюдений. Нормативные данные регионов, полученные эмпирическим путем, предназначены для того, чтобы дать заинтересованным сторонам общее представление о регионе [6 – ISO19906]. Они не направлены на предоставление значений параметров, пригодных для использования при проектировании морских сооружений. Описанные параметры должны учитываться при проектировании, однако некоторые из них могут оказаться несущественными при проектировании отдельных видов сооружений. Полное описание соответствующих параметров может потребовать проверки и анализа всех имеющихся данных, сбора новых данных, интерпретации параметров, характеризующих соседние регионы или схожие ледовые режимы, а также статистической оценки данных при определении параметров физической среды. Для определения параметров природной среды, необходимых для проектирования морских сооружений, следует привлечь специалистов соответствующего профиля. Для предварительных расчетов используется также различные эмпирические методы.

Для дальнейшей автоматизации расчета ледовых нагрузок и получения данных о толщине ледовых образований был проведен статистический анализ карт ледовой обстановки шельфа Азовского моря за период с 2007 по 2013, полученных с помощью искусственных спутников Земли серии NOAA в видимом и инфракрасном диапазонах. Карта ледовой обстановки, изображенная на рисунке 1, отображает точное положение ледового образования, толщину, тип ледового образования и толщину припайного льда. Ледовые образования разной толщины окрашены в разные цвета. Чем толще лед, тем более ярким цветом окрашивается образование. С карт ледовых обстановок, которые составлялись с недельным интервалом в каждый зимний период, были сняты все максимальные значения толщин льда в соответствии с цветовым окрасом.

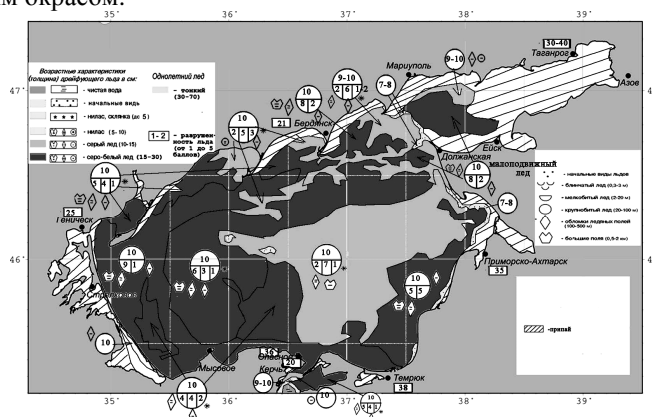


Рисунок 1 – Карта ледовой обстановки Азовского моря 13.02.2012 г.

Обработав полученные данные и построив по ним кривые значений толщин ледовых образований за период с 2007 по 2013 и наложив на них диапазон толщин, приведенных в нормативных документах

(рисунок 2), можно сделать вывод, что нормативные документы существенно завышают толщину ледовых образований. Максимальные толщины ледовых образований приходятся на зимы 2007 – 2008 и 2008 – 2009 гг., но они значительно ниже тех, которые предлагаются принимать как максимальные. Так же отличается и количество дней, когда море скованно льдами, что так же значительно влияет на рассчитанные прочностные характеристики разрабатываемых сооружений, которые предполагается использовать на шельфе Азовского моря.

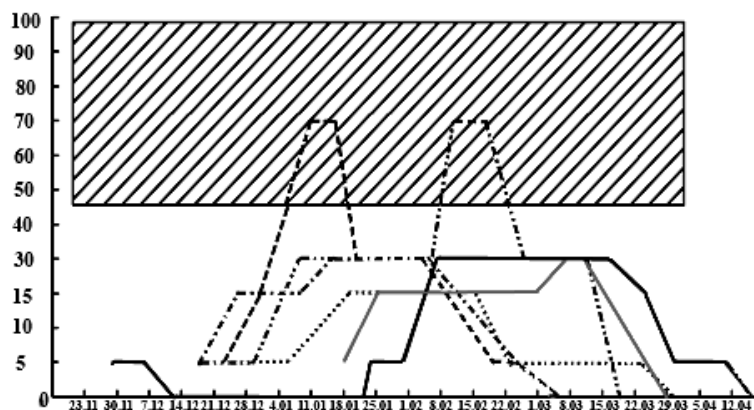


Рисунок 2 – Значение толщины льда согласно ISO 19906 и спутниковых карт ледовой обстановки:

— · · — — 2007 – 2008 гг.; - - - - - — 2008 – 2009 гг.; ······ — 2009 – 2010 гг.;  
 ————— — 2010 – 2011 г., ————— — 2011 – 2012 гг., — · — — — — 2012 – 2013 гг.

Для оценки полученных результатов были проведены расчеты глобальных нагрузок согласно Правил морского регистра судоходства, ISO 19906 и методики К.Н.Шхинека для максимальных значений толщин ледовых образований согласно нормативных документов и реальных максимальных значений. В таблице 1 приведены рассчитанные глобальные нагрузки МН при толщине льда  $h=0,99$  и  $h=0,7$  м на МЛСП «Шельф - 7».

Таблица 1 – Глобальные нагрузки МН при толщине льда  $h = 0,99$  и  $h = 0,7$  м на МЛСП «Шельф - 7»

Методика расчета	Толщина льда, м	
	$h = 0,99$	$h = 0,70$
Правил морского регистра судоходства	59,17	43,59
ISO 19906 теория пластичности	38,91	35,59
ISO 19906 изгиб упругой балки	48,98	33,02
Методика К.Н. Шхинека	68,82	51,18

Анализ полученных значений глобальной ледовой нагрузки (таблица 1) показывает, что значения толщин льда, приведенные в нормативных документах завышают величины ледовой нагрузки, что оказывает большое влияние на выбор конструкции инженерного сооружения и некоторые экономические показатели, учитываемые при строительстве инженерного сооружения.

**Выводы.** В результате применения разработанной системы были определены максимальные толщины льда в Азово-Черноморском бассейне. Выполнен расчет ледовых нагрузок на МЛСП «Шельф-7», который показал, что сформированная база данных параметров льда, в частности толщин ледовых образований, позволяет получить уточненные величины ледовой нагрузки. Таким образом, усовершенствована методика расчета ледовых нагрузок на океанотехнические сооружения путем использования разработанной системы формирования базы исходных данных параметров льда по данным спутниковых карт ледовой обстановки, что позволит с большей точностью рассчитывать ледовые нагрузки на ранних стадиях проектирования. В дальнейшем планируется провести численное моделирование взаимодействия ледовых образований и океанотехнических систем с применением разработанной системы формирования базы исходных данных параметров льда и нейронных сетей.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Воздействие льда на морские и береговые сооружения: учеб. пособие для вузов/ С. Лосет, К.Н. Шхинека, О. Гумстад, К. Хойланд. — СПб.: Изд-во «Лань», 2010. — С. 109–187.

2. Уварова Е.В. Результаты параметрического анализа ледовых нагрузок на сооружения арктического шельфа: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07: защищена 1999, утв. 1999 / Уварова Екатерина Валерьевна. — СПб., 1999. — 148 с. — Библиография: с. 130–142. — 61:00-5/965-0

3. Афанасьев В.П. Разработка и совершенствование методов расчета ледовых нагрузок на вертикальные сооружения шельфа от морских ледовых образований: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07: защищена 2007, утв. 2007 / Афанасьев Владимир Петрович. — М., 2007. — 329 с. — Библиография: с. 286–308. — 7107-5/587.

4. Боровская Р.В. О возможности использования спутниковой информации в исследовании Азово-Черноморского бассейна / Р.В. Боровская // Сб. науч. тр. ЮгНИРО. — Керчь.: Изд. ЮгНИРО, 2008. — 250 с.

5. Золотухин А.Б. Основы разработки шельфовых месторождений и строительство морских сооружений в Арктике: учеб. пособие / А.Б. Золотухин, О.Т. Гуместад, А.И. Ермаков, Р.А. Якобсен, И.Т. Мищенко, В.С. Вовк, С. Лосет, К.Н. Шхинек. — М.: Нефть и газ, 2000. — С. 394–450.

6. ГОСТ Р ИСО 19906. Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа. — Введ. 2011.01.07. — М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии; М.: Стандартинформ. — 659 с.

*Поступила в редакцию 24.01.2014 г.*

**Лопатнюва А.Ю. Використання супутникової інформації при автоматизації процесів розрахунку льодових навантажень**

Розроблена система формування бази вихідних даних параметрів льоду шляхом обробки супутникових карт льодової обстановки для умов Азово-Чорноморського басейну.

**Ключові слова:** льодове навантаження, товщина льоду, супутникова інформація, карти льодових обстановок.

**Lopatnyova A.U. Use of satellite information in the automation of the calculating ice loads process**

A system for forming the baseline data processing parameters ice is developed by satellite maps of ice conditions for the conditions of the Azov-Black Sea basin.

**Keywords:** ice load, the thickness of the ice, satellite information, maps of ice environments.