

DOI 10.15589/jnn20150601

УДК 629.563

3-16

FOR ACCOUNTING OF ICE LOADS IN THE DESIGN PROBLEMS FOR ENGINEERING CONSTRUCTIONS AT OFFSHORE AZOV AND BLACK SEAS**К УЧЕТУ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ШЕЛЬФА АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ****Zaiets A.**

au.lopatnyova@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5803-9069

А. Ю. Заец

асисст.

*Odessa National Maritime University, Odessa**Одесский национальный морской университет, г. Одесса*

Abstract. In this paper are discussed the engineering constructions design for operation on a shelf of the Azov-Black Sea basin. The purpose of research — the identification of the problems of real assessment of external loads on ocean-technical facilities. Analytically studied the problem of accounting the actual ice loads for the design and operation of engineering constructions in the region. The necessity of improving the methods of calculating ice loads in the early stages of design and in the further exploitation of using neural networks are reasonable. The research results can be applied in the early stages of designing engineering constructions in the calculation of external loads. The proposed method allows to effectively assess the possible impact of ice load on engineering constructions, that should be designed and existing.

Keywords: the offshore of the Azov-Black Sea basin; the engineering constructions; ice load; neural networks.

Анотация. Выполнен анализ перспективы добычи углеводородного сырья на шельфе Азово-Черноморского бассейна; рассмотрены особенности и актуальные проблемы проектирования и эксплуатации инженерных сооружений на шельфе Азово-Черноморского бассейна.

Ключевые слова: шельф Азово-Черноморского бассейна; инженерные сооружения; ледовые нагрузки; нейронные сети.

Анотація. Виконано аналіз перспективи видобутку вуглеводневої сировини на шельфі Азово-Чорноморського басейну; розглянуті особливості та актуальні проблеми проектування і експлуатації інженерних споруд на шельфі Азовського моря.

Ключові слова: шельф Азово-Чорноморського басейну; інженерні споруди; льодові навантаження; нейронні мережі.

REFERENCES

- [1] GOST R ISO 19906. *Neftyanaya i gazovaya promyshlennost. Sooruzheniya arkticheskogo shelfa. Prilozhenie A.* [State Standard 19906. Oil and gas industry. Facilities of the Arctic shelf. Appendix A]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 358 p.
- [2] Loset S., Shkhinek K. N., Gudmestad O. T., Hoyland K. V. *Actions from Ice on Arctic Offshore and Coastal Structures.* St. Petersburg, LAN Publ., 2006. 250 p.
- [3] *Pravila klassifikatsii, postroyki i oborudovaniya plavuchikh burovykh ustanovok i morskikh statsionarnykh platform* [Rules for Classification, Construction and Equipment of Mobile Offshore Drilling Units and Fixed Offshore Platforms]. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva* [Russian Maritime Register of Shipping], 2014. 483 p.
- [4] Croasdale K. R., Cammaert A. B., Metge M. A. Method for the Calculation of Sheet Ice Loads on Sloping Structures. *Proc. IAHR 12th Int. Symp. on Ice, Norwegian Institute of Technology.* Trondheim, Norway, 1994. Vol. 2. pp. 874 – 875.
- [5] *GAO «Chernomorneftegaz»* [SJSC «Chernomorneftegaz»]. Available at: <http://blackseagas.com>. (Reference date 28/07/2013).
- [6] Azhermacheva K. S. *O prichinakh naklona opytnogo ledostoykogo osnovaniya v akvatorii Azovskogo morya* [About the reasons of the slope of an experienced ice-resistant base in the Sea of Azov]. *Zbirnyk naukovykh prats*

Ukrainskoho instytutu stalevykh konstrukttsii imeni V. M. Shymanovskoho — Collection of scientific publications of The Ukrainian institut of Steel constructions named after Shimanovski, 2011, № 7, pp. 6–11.

- [7] Matishov G. G., Stepanyan O. V., Kovaleva G. V., Povazhnyy V. V., Kreneva K. V. *Osobennosti struktury pelagicheskogo soobshchestva azovskogo morya v usloviyakh anomalno kholodnoy zimy 2005–2006 gg.* [Features of the Azov Sea pelagic community structure in the conditions of abnormally cold winter of 2005–2006]. *Vestnik yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, T.8, № 12, pp. 66–75.
- [8] Kosyan R. D. *Nauchnoe obespechenie sbalansirovannogo planirovaniya khozyaystvennoy deyatel'nosti na unikalnykh morskikh beregovykh landshaftakh i predlozheniya po ego ispolzovaniyu na primere Azovo-Chernomorskogo poberezhya.* [Scientific support of balanced planning of economic activity on the unique marine coastal landscape and proposals on how to use on the example of the Azov-Black Sea coast]. *Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki. Institut okeanologii im. P. P. Shirshova Rossiyskoy akademii nauk* [Federal State Institution of Science. Institute of Oceanology named after P. P. Shirshov. Russian Academy of Sciences] Gelenzhik. 2013, pp.1103–1317.
- [9] Matishov G., Levitus S. *Climatic Atlas of the Sea of Azov.* U.S. Government Printing Office, Washington, D. C., 2008, 103 pp.
- [10] Fomin V. V., Dyakov N. N., Levitskaya O. V. *Atlas volneniya, techeniy i urovnya azovskogo morya* [Atlas of waves, currents and the level of the Sea of Azov]. *Tesisy mezhdunarodnoy konferentsii «Geoinformatsionnye nauki i ekologicheskoe razvitie: novye podkhody, metody, tekhnologii», VI konferentsii «Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring».* [International Conference «Geoinformation Science and environmental development of new approaches, methods and technologies» VI Conference «Geographic information technologies and space monitoring»]. 2013, T.2, pp. 95–100.
- [11] Fedorenko A. V. *Osobennosti ledovogo sezona 2007–2008 gg. na Azovskom more* [Features of the ice season 2007–2008. on the Azov Sea] *Trudy Gidromettsentra Rossii — Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia*, 2009, issue 343, pp. 88–99.
- [12] Borovskaya R. V. *Issledovanie ledovogo rezhima Azovskogo morya Kerchenskogo proliva v zimniy period 2005–2006 godov* [Study of the ice regime of the Azov Sea Kerch Strait in the winter of 2005–2006] *Materialy II mezhdunarodnoy konferentsii «Sovremennyye problemy ekologii Azovo-Chernomorskogo basseyna», (26.07–27.07 2006)»* [Proceedings of the 2nd International Conference «Modern ecological problems of the Azov-Black Sea»]. Kerch, 2006. pp. 60–64.
- [13] Dyakov N. N., Timoshenko T. Yu., Belogudov A. A. *Sovremennyye izmeneniya ledovitosti azovskogo morya* [Recent changes in the ice cover of the Azov Sea]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Geoinformatsionnye nauki i ekologicheskoe razvitie: novye podkhody, metody, tekhnologii», VI konferentsiya «Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring»* [International Conference «Geoinformation Science and environmental development of new approaches, methods and technologies», VI Conference «Geographic information technologies and space monitoring»]. 2013, T. 2. pp. 77–82.
- [14] Timco G. W., Watson D. A., Comfort G., Abdelnour R. A Comparison of Methods for Predicting Thermally-induced Ice Load. *Proceedings IAHR Ice Symposium'96.* 1996. Vol.1. pp. 241–248.
- [15] Leidersdorf Craib B., Gadd Peter E., Vaudrey Kennon D. Design Considerations for Coastal Projects in Cold Regions. *Coastal Engineering: Coastal Projects in Cold Regions*, 1996. pp. 4397–4410.
- [16] Marchenko A. Modelling of Ice Piling up Near Offshore Structures. 20th IAHR International Symposium on Ice, 2010. pp. 286–298.
- [17] Utt Michael E. Sea Ice Force and the State of Technology of Offshore Arctic Platforms. *Jornal of Petroleum Technology*, 1985. pp. 21–26.
- [18] Wright B. Evaluation of Full Scale Data for Moored Vessel Stationkeeping in Pack Ice / Tech. rep. PERD/CHC Report 26-200. Ottawa, Canada: The National Research Council of Canada, 1999 — 275 p.
- [19] Hong Lin, Lei Yang. A hybrid neural network model for sea ice thickness forecasting // 8th International Conference on Natural Computation (ICNC 2012) China, 2012. pp. 358–316.
- [20] Lopatneva A. Yu. *Ispolzovanie sputnikovoy informatsii pri avtomatizatsii protsessov rascheta ledovykh nagruzok* [Use of satellite data in the automation of processes for calculating ice loads] *Visnyk SevNTU. Avtomatyzatsiia protsesiv ta upravlinnia* [Bulletin of Sevastopol National Technical University. Automation of processes and Control], 2014, issue 146. pp. 118–121.

- [21] Zaets A. Yu. *Primenenie neyronnikh setey v zadachakh prognozirovaniya tolshchiny morskogo lda* [Application of neural networks in problems of forecasting sea ice thickness] *Optimizatsiia vyrobnychyykh protsesiv — Optimization of production processes*, 2014, issue 15, pp. 228–233.
- [22] Zaets A. Yu., Kramar V. A. *Garantosposobnost okeanotekhnicheskikh sistem* [Dependability of ocean engineering systems]. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy» — Scientific technical journal «Radio electronic and computer systems»*, 2014, issue 6 (70). pp. 7–11.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Успешное проектирование нефтегазопромысловых инженерных систем, предназначенных для эксплуатации на шельфе морей и океанов, зависит от достоверных методов расчета внешних воздействий, в частности ледовых нагрузок. Действующие в настоящее время нормативные документы по определению этих нагрузок, не содержат целого ряда рекомендаций, которые бы учитывали различные формы проектируемых сооружений и то многообразие различных расчетных сценариев, которые могут реализоваться в процессе их срока службы. По этой причине, развитие существующих и создание новых методов расчета ледовых нагрузок на инженерные системы специфичных форм является актуальной проблемой.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

При проектировании инженерных сооружений для Азово-Черноморского бассейна важно учитывать ледовую составляющую общей нагрузки. В практических расчетах [1, 2, 3, 4] используют значения физических характеристик, в частности, толщины ледового покрова, основанных на многолетних наблюдениях. Эти значения не отражают полноту картины ледовой обстановки, что в свою очередь дает завышенные значения ледовой нагрузки, а, следовательно, завышенные экономические расходы при строительстве сооружений.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — обоснование необходимости совершенствования методов учета ледовых нагрузок при проектировании и эксплуатации инженерных сооружений для Азово-Черноморского бассейна на основе современных достижений искусственного интеллекта.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Перспективы добычи углеводородного сырья на Азово-Черноморском шельфе. На шельфе Чёрного и Азовского морей нефть и газ добывает только ГАО «Черноморнефтегаз» [5]. На начало 2014 года на его балансе находятся 17 месторождений (11 газовых, 4 газоконденсатных и 2 нефтяных). Их суммарные запасы: 58,56 млрд куб. м газа, 1231 тыс. т конденсата, 2530 тыс. т нефти. Разрабатывается десять месторождений (рис. 1). На суше — Задорненское, Джанкойское и Семёновское. В акватории Чёрного моря — Голицынское, Штормовое, Архангельское

и Одесское, в акватории Азовского моря — Стрелковое, Восточно-Казантипское и Северо-Булганакское. Девять месторождений газовые и газоконденсатные, Семёновское — нефтяное. В стадии обустройства находятся месторождения Одесское и Безымянное (газ), в стадии подготовки к обустройству (или завершения разведки) — Субботина (нефть).

Добыча газа: 2010 г. — 1,031; 2011 г. — 1,056; 2012 г. — 1,174; 2013 г. — 1,650 млрд куб. м. Рост добычи в январе 2014 г. по отношению к январю 2013 г. составил 50,1%. Он достигнут за счёт дообустройства Штормового и Архангельского месторождений и ввода в эксплуатацию Одесского.

ГАО «Черноморнефтегаз» эксплуатирует более 1200 км магистральных газопроводов, в том числе 370 км морских. В 2014 г. на шельфе Чёрного моря планируется пробурить 11 добывающих скважин и начать промышленное освоение Безымянного месторождения. По имеющимся планам добыча газа ГАО «Черноморнефтегаз» в 2014 г. должна составить 2,42 млрд куб. м, в 2015 г. — 3,0 млрд куб. м.

К новым перспективным проектам относят: Одесское и Безымянное месторождения; месторождение Субботина; структура Палласа; Прикерченский участок; Скифский участок.

Опыт использования инженерных сооружений в Азовском море. В конце 70х годов XX века на шельфе Азовского моря предполагалось построить первую ледостойкую железобетонную платформу [6]. Опора такой платформы представляла собой многогранный железобетонный цилиндр диаметром 8 м с толщиной стенки 1 м. Опора закреплялась 16 вертикальными сваями, которые проходили внутри стенок цилиндрической части и забивались в грунт.



Рис. 1. Схема разрабатываемых месторождений в Азово-Черноморском бассейне

При строительстве опорной конструкции для платформы сказались отсутствие опыта возведения подобных сооружений на шельфе, где имеют место подвижки ледовых полей. В Азовском море при северо-восточных ветрах в феврале-марте наблюдаются подвижки ледовых полей [7]. И в первую зиму опорная конструкция строящейся платформы не выдержала натиска льда и накренилась (рис. 2).

Это послужило хорошим опытом при строительстве последующих стальных морских стационарных платформ «Стрелка-2», «Стрелка-5» и др. (рис. 3), которые были построены в начале 80-х годов и до настоящего момента дают газ. Однако сегодня еще не решена до конца проблема определения фактических ледовых нагрузок на опорные конструкции морских сооружений при воздействии ледовых полей и отдельных льдин.

Обзор проблем при проектировании инженерных сооружений для Азово-Черноморского бассейна. Одной из основных проблем при проектировании платформы для работы во льду, помимо инфраструктуры и удаленности области, является весьма различные свойства льда. Лед не является однородным, и его свойства динамичны. Это затрудняет получение точных количественных оценок ледовых нагрузок. Современные методы проектирования и расчета конструкций основаны на использовании максимальных значений ледовой нагрузки, полученных с помощью наблюдений в более раннее время [8–12]. Это не позволяет оценить реальную картину испытываемых нагрузок, так как за последнее десятилетие наблюдается изменение климатических условий, в том числе и в месте расположения проектируемых инженерных сооружений.

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 [13–17].

Несмотря на то, что в основном, существующие инженерные сооружения — буровые платформы работают вполне хорошо при условии правильного учета воздействия льда управления льда, возникают ряд проблем как технического, так и экономического характера вызванные либо необоснованными либо завышенными оценками толщины льда в районе их установки [18]:

- прогноз изменения толщины льда, особенно учитывая резкие климатические изменения в последнее десятилетие, повышает безопасность эксплуатации буровых платформ и сокращение времени их простоя;

- не правильная ориентация буровых платформ в зависимости от направления дрейфа льда может привести к неверному учету рассчитанной ледовой нагрузки;

- разлом льда вокруг буровых платформ является очень важным по отношению к величине ледовых нагрузок.

Все эти факторы принимаются во внимание при разработке буровых платформ работающих в сложной ледовой обстановке для того, чтобы свести к минимуму ледокольную поддержку учитывая возможность сопротивления действию ледовой нагрузки, которую будет испытывать буровая платформа с любого направления.

Прогнозируемые ледовые условия используются для оценки ледовых нагрузок на буровую платформу и, следовательно, для оценки жизнеспособности предлагаемой конструкции платформы.



Рис. 2. Опорная конструкция строящейся платформы



Рис. 3. Стальная морская платформа «Стрелка-2»

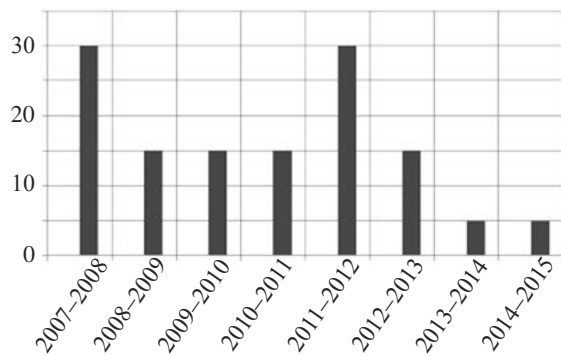


Рис. 4. Распределение толщин льда в Азовском море с декабря 2007 по март 2015

Таким образом, формализация способа решения задач анализа воздействия нагрузки льда на инженерные сооружения оказывается достаточно важной задачей. Вместе с тем, она диктуется потребностями автоматизации проектирования таких объектов. Уже по этой достаточно важной причине возникает необходимость в поиске других подходов.

Способы оценки ледовой обстановки на шельфе морей. Применение береговых наблюдений, авиа наблюдений или измерение толщины льда с помощью разведывательных судов являются в первом случае ограниченными и не дают полную картину о ледовых образованиях, находящихся на открытых участках морей, а во втором и третьем случаях — дорогостоящими, представляющими опасность и часто недоступными из-за погодных условий.

Перечисленные факторы не позволяют избавиться от недостатков при оценке ледовой нагрузки, если придерживаться традиционных методов определения

Таблица 1. Данные для обучения модели нейронной сети

Серийный номер	Входные данные	Выходные данные
1	0; 0,3846; 1,0000; 0,3846	0,1538
2	0,3846; 1,0000; 0,3846; 0,1538	1,0000
3	1,0000; 0,3846; 0,1538; 1,0000	0,3846
4	0,3846; 0,1538; 1,0000; 0,3846	0
5	0,1538; 1,0000; 0,3846; 0	0,1538
6	1,0000; 0,3846; 0; 0,1538	0,1538
7	0,3846; 0; 0,1538; 0,1538	0,1538
8	0; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0,1538
9	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0,1538	0,3846
10	0,1538; 0,1538; 0,1538; 0,3846	0
11	0,1538; 0,1538; 0,3846; 0	0
12	0,1538; 0,3846; 0; 0	0,1538
13	0,3846; 0; 0; 0,1538	0,3846
14	0; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846
15	0; 0,1538; 0,3846; 0,3846	0
16	0,1538; 0,3846; 0,3846; 0	0,1538
17	0,3846; 0,3846; 0; 0,1538	0,3846
18	0,3846; 0; 0,1538; 0,3846	0,3846

физико-механических свойств льда. Возникла необходимость применения методики комплексной оценки ледового покрова (толщины, структуры, скорости дрейфа и т.д.), которую можно осуществить с использованием современных спутниковых технологий.

Современные наблюдения позволяют получать ежедневно точные данные изменения ледового режима. В настоящее время для распознавания и составления ледовых карт, прогнозирования ледовых нагрузок и т.д. применяется технология нейродинамического программирования [19]. Использование нейродинамических технологий позволит с высокой точностью и с учетом реальной картины дать прогноз по толщинам ледовых образований. Полученные данные могут быть основанием как для оценки ледовых нагрузок на существующие инженерные сооружения на Азово-Черноморском бассейне, так и для выработки рекомендации при проектировании сооружений непосредственно для морского шельфа Украины. Применение нейронных сетей с целью прогнозирования величины ледовой нагрузки в Азовском море является предметом дальнейшего рассмотрения.

Таким образом, учитывая опыт проектирования и эксплуатации океанотехнических сооружений на шельфе Азовского моря, необходимо учитывать действующие ледовые нагрузки, как основной фактор надежного функционирования, удешевления строительства инженерного сооружения, а, следовательно, и удешевления добываемого сырья. В частности, при круглогодичной добычи углеводородного сырья, конструкция буровых платформ должна быть выполнена с учетом ледовых нагрузок, действующих в зимний период. В настоящее время расчет при проектировании конструкций ведется с использованием максимальных значений ледовой нагрузки, полученных с помощью наблюдений в более раннее время. Это не дает реальную картину испытываемых нагрузок, так как за последнее десятилетие наблюдается потепление и преобладание теплых и умеренных зим на территории Азовского моря.

Таблица 2. Максимальные значения толщины льда в Азовском море, прогнозируемые разработанной моделью нейронной сети

Дата	Реальная толщина льда, см	Прогнозируема толщина льда разработанной нейронной сетью, см и ошибка, %
19.01.2010	15	14,5 и 3,0%
09.02.2010	15	14,7 и 2,0%
25.01.2011	15	15,1 и 0,6%
15.02.2011	15	14,82 и 1,0%
29.11.2011	5	4,85 и 3,0%
06.12.2011	5	4,91 и 1,8%
31.01.2012	15	14,63 и 2,5%
13.02.2012	30	29,3 и 2,0%

Таблица 3. Ледовые нагрузки на ЛСП-1 при толщине льда 0,3 м и 1,0 м

Методики	Авторская методика К. Н. Шхинька	API RP 2N	ISO19906 (изгиб упругой балки)	ISO19906 (теория пластичности)	Правила морского регистра судоходства
Толщина льда					
0,3 м	18,60 МН	16,61 МН	6,30 МН	4,20 МН	18,10 МН
1,0 м	62,30 МН	55,63 МН	22,50 МН	13,80 МН	60,85 МН

Расчет ледовых нагрузок на инженерные сооружения с использованием нейронных сетей.

В работах [20–22] представлена схема расчет ледовых нагрузок с учетом толщины льда, прогнозируемой с использованием одно- и многофакторной нейронной сети.

Предварительно был выполнен статистический анализ ледовой обстановки в Азовском море с 2007 по 2015 гг. (рис. 4). Значения обучающей выборки нормированы на повышения эффективности нейронной сети с использованием (1):

$$\xi' = \frac{\xi - \xi_{\min}}{\xi_{\max} - \xi_{\min}}, \quad (1)$$

где ξ – необработанные данные образца, ξ_{\min} и ξ_{\max} – максимальные и минимальные исходные данные образца соответственно и ξ' – нормированные данные между 0 и 1.

По формуле (1) были рассчитаны значения для обучения модели нейронной сети, представленные в таблице 2.2.

Для обучения нейронной сети были выбраны толщины льда в период с 18.12.2007 по 29.12.2009. Нормированные обучающие данные в таблице 3.1 вводятся в модели нейронной сети. Нейроны входного уровня, скрытого уровня и выходного уровня устанавливаются как 4 ($n = 4$), 10 ($m = 10$) и 1 ($l = 1$) [88]. Изменяя глобальную точность поиска ϵ_1 и конечная точность ϵ_2 , максимальное число итераций было проведено обучение модели нейронной сети.

В таблице 2 представлены максимальные значения толщины льда в Азовском море, прогнозируемые разработанной моделью нейронной сети.

Как видно из расчетов, прогнозируемая толщина льда практически совпадает с реальными статистическими значениями, а ошибка не превышает 5%. Следовательно, разработанная модель нейронной сети способна прогнозировать с достаточной точностью толщину льда.

На основе этих данных был выполнен расчет ледовых нагрузок по известным методикам [1, 2, 3, 4]

для платформы конструкции типа ЛСП-1 с учетом максимальной толщины льда для Азовского моря, равной 1 м и для максимальной толщины за период 2007–2015 гг., равной 0,3 м. Результаты представлены в таблице 3.

Основными преимуществами использования нейросетевых технологий и оперативных спутниковых данных в расчетах ледовых нагрузок является:

- оперативность и точно расчета и оценку ледовой нагрузки для уже используемых на точке бурения инженерных сооружений;

- возможность анализа и учета экстремальных ледовых нагрузок при проектировании новых инженерных сооружений, что в свою очередь позволит оптимально выбрать конструкцию корпуса сооружения и эффективно уменьшить технологические затраты и стоимость постройки;

- возможность использовать все физические факторы, влияющие на формирование ледовых образований, что в свою очередь так же влияет на точность оценки ледовой нагрузки.

- возможность проведения долгосрочного прогноза изменения ледовой нагрузки, а в случае резкого изменения внешних факторов, обеспечение своевременного принятия решений для предотвращения экстремальных ледовых воздействий.

ВЫВОДЫ. Таким образом, исходя из вышесказанного, разработка методики определения ледовой нагрузки на основании нейросетевых технологий, с учетом многолетних реальных статистических данных Азово-Черноморского бассейна, является актуальным направлением исследования. Эта методика включает формулирование и решение задачи с учетом влияния многофакторности физических свойств льда на оценку ледовой нагрузки, что позволит, создав нейросетевую модель прогнозирования толщины ледовых образований, точно и оперативно оценивать реальные ледовые нагрузки, а также выработать рекомендации при проектировании инженерных сооружений на шельфе Азово-Черноморского бассейна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа. Приложение А : ГОСТ Р ИСО 19906. — [Введ. 2011-20-08]. — М. : Стандартинформ, 2011. — 358 с.
- [2] Actions from Ice on Arctic Offshore and Coastal Structures / Loset, S., K. N. Shkhinek, O. T. Gudmestad, K. V. Hoyland. — St. Petersburg : LAN, 2006. — 250 p.

- [3] Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ / Российский морской регистр судоходства, 2014. — 483 с.
- [4] **Croasdale, K. R.** Method for the Calculation of Sheet Ice Loads on Sloping Structures / K. R. Croasdale, A. B. Cammaert, M. A. Metge // Proc. IAHR 12th Int. Symp. on Ice, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, 1994. — Vol. 2. — Pp. 874–875.
- [5] ГАО «Черноморнефтегаз». Режим доступа : <http://blackseagas.com> (дата обращения 28.07.2013).
- [6] **Ажермачёва, К. С.** О причинах наклона опытного ледостойкого основания в акватории Азовского моря // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського. — 2011. — № 7. — С. 6–11.
- [7] Особенности структуры пелагического сообщества азовского моря в условиях аномально холодной зимы 2005–2006 гг. / Г. Г. Матишов, О. В. Степаньян, Г. В. Ковалёва, В. В. Поважный, К. В. Кренёва // Вестник южного научного центра РАН. — 2012. — Т.8, № 12. — С. 66–75.
- [8] Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья. / под ред. Р. Д. Косьяна / Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П. П. Ширшова. Российской академии наук (ИО РАН). — Геленжик. — 2013. — С. 1103–1317.
- [9] Climatic Atlas of the Sea of Azov // G. Matishov, S. Levitus. U.S. Government Printing Office, Washington, D. C. — 2008. — 103 pp.
- [10] **Фомин, В. В.** Атлас волнения, течений и уровня азовского моря / В. В. Фомин, Н. Н. Дьяков, О. В. Левицкая // Международная конференция «Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии» VI конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг». — 2013. — Т.2. — С. 95–100.
- [11] **Федоренко, А. В.** Особенности ледового сезона 2007–2008 гг. на Азовском море // Труды Гидрометцентра России. — 2009. — Вып. 343. — С. 88–99.
- [12] **Боровская, Р. В.** Исследование ледового режима Азовского моря Керченского пролива в зимний период 2005–2006 годов / Р. В. Боровская, Л. А. Лексикова // Материалы II международной конференции: Современные проблемы экологии Азово-Черноморского бассейна, 26–27 июля 2006 г. — Керчь : ЮгНИРО, 2006. — С. 60–64.
- [13] **Дьяков, Н. Н.** Современные изменения ледовитости азовского моря / Н. Н. Дьяков, Т. Ю. Тимошенко, А. А. Белогудов // Международная конференция «Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии» VI конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг», 2013. — Т. 2. — С. 77–82.
- [14] **Timco, G. W.** A Comparison of Methods for Predicting Thermally-induced Ice Load / G. W. Timco, D. A. Watson, G. Comfort, R. Abdelnour // Proceedings IAHR Ice Symposium '96. — 1996. — Vol. 1. — Pp. 241–248.
- [15] Leidersdorf Craid B. Design Considerations for Coastal Projects in Cold Regions / Craid B. Leidersdorf, Peter E. Gadd, Kennon D. Vaudrey // Coastal Engineering: Coastal Projects in Cold Regions, 1996. — Pp. 4397–4410.
- [16] **Marchenko, A.** Modelling of Ice Piling up Near Offshore Structures / A. Marchenko // 20th IAHR International Symposium on Ice, 2010. — Pp. 286–298.
- [17] Utt, Michael E. Sea Ice Force and the State of Technology of Offshore Arctic Platforms / Michael E. Utt // Journal of Petroleum Technology, 1985. — Pp. 21–26.
- [18] **Wright, B.** Evaluation of Full Scale Data for Moored Vessel Stationkeeping in Pack Ice / Tech. rep. PERD/CHC Report 26-200. Ottawa, Canada: The National Research Council of Canada, 1999 — 275 p.
- [19] **Hong Lin, Lei Yang.** A hybrid neural network model for sea ice thickness forecasting // 8th International Conference on Natural Computation (ICNC 2012) — China, 2012 — Pp. 358–316.
- [20] **Лопатнева, А. Ю.** Использование спутниковой информации при автоматизации процессов расчета ледовых нагрузок // Вісник СевНТУ. Автоматизація процесів та управління. — 2014. — Вып. 146. — С. 118–121.
- [21] **Заец, А. Ю.** Применение нейронных сетей в задачах прогнозирования толщины морского льда / Оптимізація виробничих процесів. — 2014 г. — Вып. 15. — С. 228–233.
- [22] **Заец, А. Ю.** Гарантийная способность океанотехнических систем / А. Ю. Заец, В. А. Крамарь // Науково-технічний журнал Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — 2014. — № 6 (70). — С. 7–11.

© А. Ю. Заець

Надійшла до редколегії 14.12.2015
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. О. Б. Ляшенко