

УДК 553.9:551.242.056: 551.324.28:004.413.4

DOI: 10.52531/1682-1696-2024-24-1-57-60

Научная статья

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО СУДОХОДСТВА АРКТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В ПЕЧОРСКОМ МОРСКОМ РАЙОНЕ

Н.А. ЕРЕМИН^{1,2,3}, Р.З. ГУЛИЕВ²

¹ Институт проблем нефти и газа РАН,
аналитический центр энергетической
политики и безопасности, Москва,
Российская Федерация

² Северный (Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация

³ Российский государственный
университет нефти и газа (НИУ)
им. И.М. Губкина, Москва,
Российская Федерация

Судоходство в Арктике влияет на изменение климата, здоровье людей и окружающую среду. Внедрение альтернативных видов топлива в арктическом судоходстве может значительно снизить выбросы и воздействие, а также риск, связанный с использованием и перевозкой тяжелого нефтяного топлива. Во всем мире альтернативные виды топлива становятся жизнеспособной альтернативой топливу на основе нефти.

Планируется более широкое внедрение альтернативных видов топлива, особенно топлива с ультранизким содержанием серы, в качестве топлива для судов, плавающих в Арктике. Однако риск транспортной деятельности на арктическом шельфе связан с невероятно суровыми климатическими условиями. Детерминистический подход к оценке риска не дает полной оценки транспортной деятельности, поэтому авторы предлагают использовать метод нечеткой логики для оценки рисков транспортной доступности судов, использующих топливо с ультранизким содержанием серы в Печорском море.

Ключевые слова: Арктика, оценка рисков, нечеткая логика, транспортная доступность, безопасность

В ряде работ были продемонстрированы особенности использования метода нечеткой логики [8, 12, 13].

© 2024, Н.А. Еремин, Р.З. Гулиев
Поступила в редакцию 12.02.2024

Original article

DEVELOPMENT AND TESTING OF A FUZZY LOGIC ALGORITHM TO ENSURE SAFE ARCTIC TRANSPORT IN THE PECHORA SEA REGION

N.A. EREMIN^{1,2,3}, R.Z. GULIEV²

¹ OIL AND GAS RESEARCH INSTITUTE
RAS, ANALYTICAL CENTER FOR ENERGY
POLICY AND SECURITY, MOSCOW, RUSSIAN
FEDERATION

² NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV,
DEPARTMENT DRILLING WELLS, DEVELOPING
OIL AND GAS FIELDS, ARKHANGELSK, RUSSIAN
FEDERATION

³ GUBKIN UNIVERSITY, DEPARTMENT
DEVELOPMENT AND OPERATION OF OIL
FIELDS, MOSCOW, RUSSIAN FEDERATION

Arctic shipping impacts climate change, human health and the environment. The introduction of alternative fuels in Arctic shipping can significantly reduce emissions and impacts, as well as the risk associated with the use and transport of heavy fuel oil. Around the world, alternative fuels are becoming viable alternatives to petroleum-based fuels.

There are plans to increase the adoption of alternative fuels, especially ultra-low sulfur fuels, to fuel ships sailing in the Arctic. However, the risk of transport activities on the Arctic shelf is associated with incredibly harsh climatic conditions. A deterministic approach to risk assessment does not provide a complete assessment of transport activities, so the authors propose to use the fuzzy logic method to assess the risks of transport accessibility of ships using fuel with ultra-low sulfur content in the Pechora Sea.

KEY WORDS: Arctic, risk assessment, fuzzy logic, transport accessibility, safety

В [11, 12] алгоритм нечеткой логики был использован с многообещающими результатами для решения проблемы оценки риска в морской разведке, в [13] результаты нечеткой логики сравнивались с традиционным подходом для оценки запасов углеводородов. Анализ

данных работ показывает, что нечеткая логика отражает специфические знания на выходе системы, и результаты дают нам более точную информацию для прогнозирования.

В данной работе мы предлагаем систему на основе нечеткой логики, применяемую для прогнозирования безопасности транспортных маршрутов. Анализ перспектив транспортной деятельности конкретных зон в пределах региона – важная задача, требующая решения. Он не направлен на создание готовой системы безопасных транспортных маршрутов на этих территориях, но позволит оценить техническую возможность реализации этих проектов и необходимый для этого объем средств [6, 10]. Целью данной работы было проектирование, разработка и тестирование нечеткого логического алгоритма (НЛА) для оценки деятельности арктического транспорта в Печорском морском районе, исходя из ледового состояния района исследований [9]. Авторы также проанализировали деятельность судов, использующих альтернативные виды топлива, чтобы оценить риски перевозок этих судов с учетом ледовой обстановки. Набор данных, используемый для анализа, должен содержать большой объем данных, полученных в результате спутниковых и полевых наблюдений. Чем больше период, в течение которого проводились наблюдения, тем точнее будет конечный результат анализа [3].

Мы рассмотрели риск транспортных маршрутов на арктическом шельфе в зависимости от состояния льда в двух случаях: при использовании метода на крупной сетке (123 зоны) и при использовании метода на мелкой сетке в районе Печорского моря (492 зоны).

Схема проведения численного эксперимента для оценки рисков показана на рисунке 1.

Для анализа мы использовали параметры состояния льда, позволяющие оценить перспективы развития территории. Эти ледовые факторы оказывают сильное влияние на транспортную безопасность региона. Анализ проводится с использованием метода экспертных оценок на основе многолетних данных о состоянии ледового покрова на данной территории. Эту группу следует рассмотреть более подробно. Существует несколько типов ледяного покрова, различающихся по своим свойствам. Обычно они различаются из-за времени, прошедшего с начала образования, и условий, в которых происходит обледенение: Новый лед, Нилас, Молодой лед, Перволетний лед, Старый лед.

Толщина льда – этот параметр является одним из самых важных в нашем списке, так как он напрямую влияет на возможность осуществления перевозок в регионе. В последние десятилетия среднегодовая толщина льда уменьшилась из-за влияния парникового эффекта, однако она по-прежнему остается главным препятствием для реализации проектов из-за высоких эксплуатационных расходов, связанных с навигацией по морям.

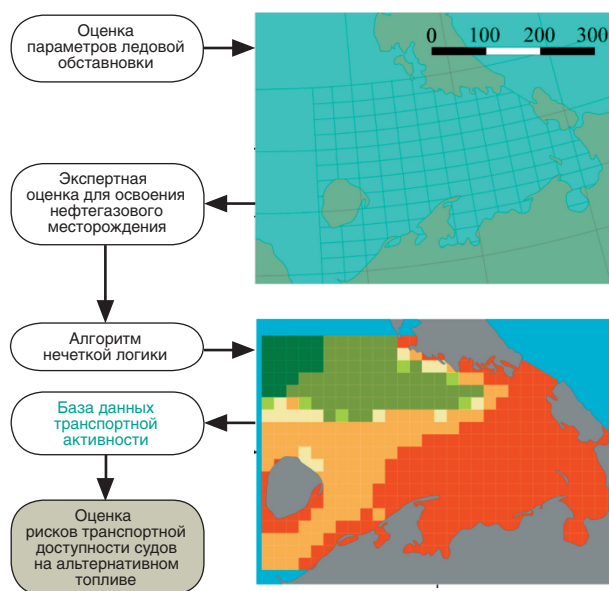


Рис. 1.

Схема проведения численного эксперимента для оценки рисков. Источник: Составлено авторами

Продолжительность этого периода влияет на время транспортировки, так как она обычно осуществляется в безледное время.

Концентрация льда – отношение характеризует количество поверхности моря, покрытой льдом, к общей поверхности моря в течение года. Общая концентрация включает все стадии транспортной деятельности, которые присутствуют, частичная концентрация может относиться к количеству определенной стадии или определенной формы льда и представляет собой только часть общей концентрации.

Айсберги, как одно из самых опасных ледовых образований, угрожают не только судоходству, но и значительно повышают риски, связанные с безопасным ведением процессов производственной деятельности [3, 8].

Описанные факторы имеют различные измерения. Некоторые из них измеряются во временных интервалах, некоторым можно дать лишь общую оценку "легкий/ложный". В таких условиях эффективен метод нечеткой логики [2]. Вся территория Печорского моря была разделена на несколько зон. Эти зоны были изучены и оценены с помощью многокритериального подхода. Причина использования подхода нечеткой логики заключалась в том, что он позволяет без труда оперировать многими параметрами при ограниченном знании предмета и большой неопределенности в отношении имеющихся данных [11]. Многокритериальный подход в оценке сложности условий означает одновременный анализ многих факторов [1, 5, 9]. Этот подход подробно рассмотрен в [8], где была проанализирована задача составления карты технической доступности. Поэтому здесь подход описан

лишь вкратце. Как объяснялось выше, для построения карты выбирается несколько параметров. Целый ряд значений для каждого критерия был отображен на оси соответствующей функции принадлежности, которая в дальнейшем была разделена на восемь различных классов, где 1-й класс имел наименьшее, а 8-й – наибольшее значение.

На рисунке 2 представлен обзор 13 типов судов и 7 размерных сегментов в декабре-марте в 2017–2018, 2018–2019 гг. Как мы видим, общее количество судов и судоходная деятельность увеличились.

После оценки параметров льда и активности перевозок мы можем создать карты транспортной доступности на основе оценки различных параметров. Таким образом, карты доступности покажут, в каких зонах и в какие месяцы можно осуществлять безопасную транспортную деятельность. В будущем этот метод поможет в мониторинге транспортной деятельности в режиме реального времени. Если мы добавим к нашему анализу следы судов, включая те, которые используют альтернативные виды топлива, мы также получим картину транспортной безопасности (рис. 3).

Печорское море – регион с суровыми ледовыми и погодными условиями [4]. Последовательное транспортное планирование позволяет комплексно подойти к будущим проектам. Высокий коммерческий потенциал региона и неопределенность, вызванная глобальным изменением климата, требуют активизации научно-исследовательской деятельности для достижения стабильной и долгосрочной стратегии развития [13]. Результаты исследования показывают успешность использования метода нечеткой логики в решении прогностической задачи оценки риска в случае многих ледовых факторов. На примере оценки транспортной доступности мы видим, что параметры льда, пропущенные через алгоритм, показывают безопасные и опасные регионы для судов. В сравнении с результатами оценки рисков нефтегазового освоения мы видим, что в Печорском море есть схожие регио-

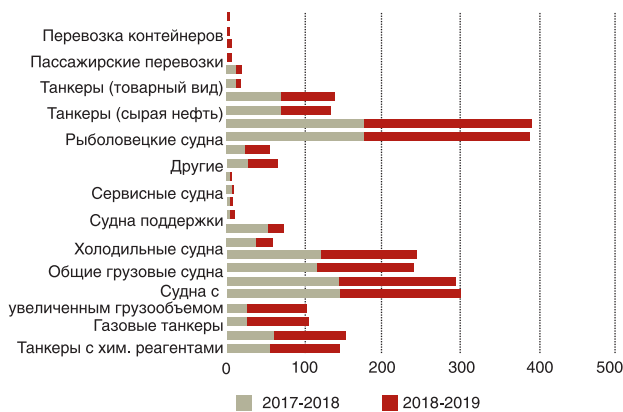


Рис. 2.

Транспортная деятельность в Арктическом регионе.
Источник: Составлено авторами

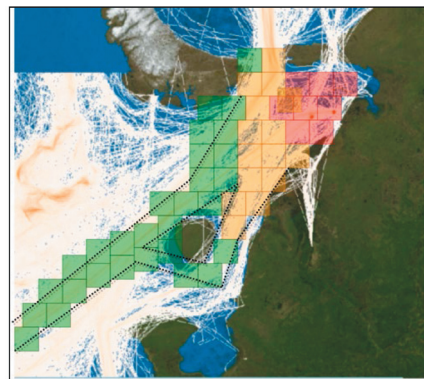


Рис. 3.

Коридоры транспортной безопасности (зеленый цвет) для судов на альтернативных видах топлива на основе многокритериального анализа ледовой обстановки в Печорском море (значения цветов: зеленый и зеленые оттенки – комфортные условия для деятельности, оранжевый и оранжевые оттенки – суровые и очень суровые условия для деятельности). Источник: Составлено авторами

ны, представляющие риск как для морских нефтяных платформ, так и для судовой деятельности. В данной работе впервые показаны результаты применения многокритериального анализа для оценки рисков транспортной доступности в Арктическом регионе. Результаты исследования могут быть использованы в будущем для оценки технико-экономического обоснования различных транспортных маршрутов, включая северный морской путь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рисков показал зоны и временные интервалы в году в районе Печорского моря, где условия достаточно хороши для транспортной деятельности судов на альтернативных видах нефтяного топлива. Эта методология может быть использована в будущем для мониторинга рисков с учетом ледовых условий в режиме реального времени, что поможет государственным органам и службам безопасности на море построить безопасные и стабильные стратегии транспортировки. В данной работе авторы показали эффективность нечеткой логики в прогнозировании безопасных транспортных зон, учитывая сложную ледовую обстановку в Печорском море.

ЛИТЕРАТУРА

1. AARI Archive of AARI comprehensive ice maps of the ice conditions of the Arctic and freezing seas of Russia in the exchange format SIGRID-3 for 01. 2020. /2019-12 / 2019 period. <http://wdc.aari.ru/datasets/d00041>.
2. DINGHONG C., YUWEI N. ET AL. Application and realization of fuzzy method for selecting wells and formations in fracturing in Putaohua oilfield: Production and operations: Diagnostics and evaluation. 2006. <https://scite.ai/reports/application-and-realization-of-fuzzy-AEa82O?page=1>.

3. GAUTIER D.L., BIRD K.J., CHARPENTIER R.R. ET AL. Assessment of undiscovered oil and gas in the Arctic. *Science*. 2009. Vol. 324. N5931. P. 1175–1179.
4. HARSEM Ø., HEEN K., RODRIGUES J.M.P. ET AL. Oil exploration and sea ice projections in the Arctic. *Polar Record*. 2015. Vol. 51. N1. P. 91–106.
5. JOHANNESSEN K., GUDMESTAD O.T., LØSET S. Drift of sea ice ridges in the Pechora Sea. *Journal of Navigation*. 2001. Vol. 54. N1. P. 81–96.
6. KHADEMI H.J., SHAHRIAR K., REZAI B. ET AL. Application of fuzzy set theory to rock engineering classification systems: An Illustration of the rock mass excavability index. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2010. Vol. 43. N3. P. 335–350.
7. MOHAGHEGH S.D., GASKARI R. ET AL. A new method for production data analysis to identify new opportunities in mature fields: Methodology and application. 2005. <https://onepetro.org/SPEERM/proceedings-abstract/05ERM/All-05ERM/SPE-98010-MS/89828>.
8. NESIC S., PIVOVAROV K.N., STRELETSKAYA V. ET AL. Mapping the main risks for offshore operations in the Pechora Sea. *WIT Transactions on the Built Environment*. 2018. Vol. 174. P. 69–80.
9. WAGNER P.M., HUGHES N., BOURBONNAIS P. ET AL. Sea-ice information and forecast needs for industry maritime stakeholders. *Polar Geography*. 2020. Vol. 43. N2–3. P. 160–187.
10. XIONG H., ROBINSON B.M., FOH S. Using an expert system to diagnose formation damage mechanisms and design stimulation treatments for gas storage wells. 2001. <https://onepetro.org/SPEERM/proceedings-abstract/01ERM/All-01ERM/SPE-72374-MS/134378>.
11. ZADEH L. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965. Vol. 8. P. 338–353.
12. ZOLOTUKHIN A., GAVRILOV V. Russian Arctic petroleum resources. *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*. 2011. Vol. 66. N6. P. 899–910.
13. ZOLOTUKHIN A.B. A novel approach to resources and reserves determination. 2000. <https://onepetro.org/SPEATCE/proceedings-abstract/00ATCE/All-00ATCE/SPE-63199-MS/132183>.

REFERENCES

1. AARI Archive of AARI comprehensive ice maps of the ice conditions of the Arctic and freezing seas of Russia in the exchange format SIGRID-3 for 01. 2020. / 2019-12 / 2019 period. <http://wdc.aari.ru/datasets/d00041>.
2. DINGHONG C., YUWEI N. ET AL. Application and realization of fuzzy method for selecting wells and formations in fracturing in Putaohua oilfield: Production and operations: Diagnostics and evaluation. 2006. <https://scite.ai/reports/application-and-realization-of-fuzzy-AEa82O?page=1>.
3. GAUTIER D.L., BIRD K.J., CHARPENTIER R.R.

- ET AL. Assessment of undiscovered oil and gas in the Arctic. *Science*. 2009;324;(5931):1175–1179.
4. HARSEM Ø., HEEN K., RODRIGUES J.M.P. ET AL. Oil exploration and sea ice projections in the Arctic. *Polar Record*. 2015;51;(1):91–106.
5. JOHANNESSEN K., GUDMESTAD O.T., LØSET S. Drift of sea ice ridges in the Pechora Sea. *Journal of Navigation*. 2001 54(1):81–96.
6. KHADEMI H.J., SHAHRIAR K., REZAI B. ET AL. Application of fuzzy set theory to rock engineering classification systems: An Illustration of the rock mass excavability index. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2010;43;(3):335–350.
7. MOHAGHEGH S.D., GASKARI R. ET AL. A new method for production data analysis to identify new opportunities in mature fields: Methodology and application. 2005. <https://onepetro.org/SPEERM/proceedings-abstract/05ERM/All-05ERM/SPE-98010-MS/89828>.
8. NESIC S., PIVOVAROV K.N., STRELETSKAYA V. ET AL. Mapping the main risks for offshore operations in the Pechora Sea. *WIT Transactions on the Built Environment*. 2018;174:69–80.
9. WAGNER P.M., HUGHES N., BOURBONNAIS P. ET AL. Sea-ice information and forecast needs for industry maritime stakeholders. *Polar Geography*. 2020;43;(2–3):160–187.
10. XIONG H., ROBINSON B.M., FOH S. Using an expert system to diagnose formation damage mechanisms and design stimulation treatments for gas storage wells. 2001. <https://onepetro.org/SPEERM/proceedings-abstract/01ERM/All-01ERM/SPE-72374-MS/134378>.
11. ZADEH L. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965; 8:338–353.
12. ZOLOTUKHIN A., GAVRILOV V. Russian Arctic petroleum resources. *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*. 2011;66;(6):899–910.
13. ZOLOTUKHIN A.B. A novel approach to resources and reserves determination. 2000. <https://onepetro.org/SPEATCE/proceedings-abstract/00ATCE/All-00ATCE/SPE-63199-MS/132183>.

Еремин Николай Александрович, д.т.н., профессор Института проблем нефти и газа РАН, заведующий аналитическим центром энергетической политики и безопасности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, каф. разработки и эксплуатации нефтяных месторождений, главный научный сотрудник Северного (Арктический) федерального университета имени М.В. Ломоносова
 ☎ 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3,
 тел.: +7 (916) 672-85-71, e-mail: ermn@mail.ru

Гулиев Рамиль Зафарович, ст. преподаватель кафедры бурения скважин, разработки нефтяных и газовых месторождений Северного (Арктический) федерального университета им. М.В. Ломоносова
 ☎ 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 14,
 тел.: +7 (965) 793-44-86, e-mail: r.guliev@narfu.ru