

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОРСКИХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ - ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ПРАВИЛ НЕЧЁТКИХ ПРОДУКЦИЙ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ НЕЧЁТКОГО ВЫВОДА ТИПА МАМДАНИ

Соболевская Е.Ю., старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и системы», ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», e-mail: study_z@list.ru

Глушков С.В., д.т.н., профессор, декан Электромеханического факультета, ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского», e-mail: gluskov@msun.ru

Левченко Н.Г., к.т.н., доцент кафедры «Автоматические и информационные системы», ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского», e-mail: levchenko@msun.ru

Анализ существующих программных средств и информационных ресурсов в сфере организации морских грузоперевозок в Арктической зоне России и субарктической зоне Дальнего Востока России показал необходимость разработки интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления, способной оптимизировать логистические операции. Для реализации интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления на базе системы нечёткого вывода типа Мамдани необходимо сформировать базу правил нечётких продукций. Формирование базы и реализация проводится посредством Fuzzy Logic Toolbox математического пакета Matlab. Выделены и сформированы термы лингвистических переменных для последующего формирования входных параметров. Сформирована таблица скорости плавания для определенных классов судов в ледовых условиях. Составлена таблица скорости плавания по маршруту следования. Определена ледовая обстановка по маршруту следования. Сформирована база правил нечетких продукций для системы нечеткого вывода типа Мамдани и реализована посредством Fuzzy Logic Toolbox математического пакета Matlab. Определен следующий этап – настройка модели типа Мамдани на обучающей выборке из натуральных данных.

Ключевые слова: Морская логистика, Арктика, нечеткая логика, нечеткий вывод Мамдани.

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM OF SEA CARGO TRANSPORTATION IN ARCTIC CONDITIONS - FORMING OF THE RULE BASE OF FUZZY PRODUCTS ON THE BASIS OF MAMDANI FUZZY LOGIC SYSTEM

Sobolevskaya E., lecturer, Information Technologies and Systems chair, FSBEU HE «Vladivostok State University of Economics and Service», e-mail: study_z@list.ru

Glushkov S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Electromechanics faculty, FSBEU HPO «Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy», e-mail: gluskov@msun.ru

Levchenko N., Master of Technical Sciences, Associate Professor of the Automatic and Information Systems chair, FSBEU HPO «Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy», e-mail: levchenko@msun.ru

Analysis of existing software and information resources in the field of organization of sea cargo transportation in the Arctic zone of Russia and the subarctic zone of the Russian Far East showed the need to develop an intelligent information transport and logistics management system that can optimize logistics operations. To implement an intelligent information transport and logistics management system based on the Mamdani fuzzy logic system, it is necessary to create a rule base of fuzzy products. The formation of the base and the implementation is carried out by means of the Matlab Fuzzy Logic Toolbox math package. The terms of linguistic variables for the subsequent formation of input parameters have been selected and formed. A table has been formed for the speed of navigation for certain classes of vessels in ice conditions. A table of navigation speed on the route has been formed. Ice conditions on the route have been defined. A base of fuzzy products rules for the Mamdani fuzzy logic system has been formed and implemented using the Matlab Fuzzy Logic Toolbox math package. The next step has been defined - setting up a Mamdani type model on a training set of field data.

Keywords: Maritime logistics, Arctic, fuzzy logic, Mamdani fuzzy logic.

Климатические изменения в Арктической зоне России и субарктической зоне Дальнего Востока России привели к возможности увеличения морских грузоперевозок в данном регионе. Разработан ряд программ правительства Российской Федерации по развитию данного региона и Северного морского пути. Многократное увеличение морских грузоперевозок вынуждает к повышению эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях.

Анализ существующих программных средств и информационных ресурсов в сфере организации морских грузоперевозок в данном регионе показал необходимость разработки интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления способной оптимизировать логистические операции [1,2].

Для реализации интеллектуальной информационной транспортно-логистической системы управления на базе системы нечёткого вывода типа Мамдани необходимо сформировать базу правил нечётких продукций (БПНП).

Формирование БПНП для системы нечёткого вывода типа Мамдани и реализация проводится посредством Fuzzy Logic Toolbox математического пакета Matlab.

Для формирования БПНП были выделены и сформированы термы лингвистических переменных, которые будут служить для формирования входных параметров.

Термы лингвистических переменных:

- «Период»
- «Судно»
- «Маршрут»
- «Торосистость»
- «Сплоченность льда»
- «Возраст льда»
- «Форма льда»
- «Сжатие»
- «Заснеженность»

Практика ледового плавания судов показывает, что судно ледового класса, может следовать в зависимости от сплоченности льда с определенной скоростью, отличной от скорости на чистой воде [3].

Для составления правил необходимо учитывать не ледовую паспортную скорость судна, а ледовую эксплуатационную чистую скорость, полученную на основе натуральных наблюдений и рейсовых отчетов.

На основе анализа различных источников была сформирована таблица скоростей плавания в ледовых условиях плавания (табл. 1) [4,5].

Данные таблицы 1 являются основой для формирования термов лингвистической переменной «Скорость» (табл. 2), что позволит сформировать БПНП, приближенную к реальным данным.

Таблица 1. Скорость плавания в ледовых условиях плавания

| Ледовый класс судна | Толщина льда, м | Сплоченность и тип льда | Под проводкой ледокола, уз | Допустимая скорость ледового плавания, уз | Скорость на чистой воде, уз |
|---------------------|-----------------|---|----------------------------|---|-----------------------------|
| Ice 1 | 0,40 - 0,35 | в мелкобитом разреженном льду | не менее 5 | 3-5 | 11 |
| Ice 2 | 0,55 - 0,50 | в мелкобитом разреженном льду | не менее 5 | 3-5 | 12 |
| Ice 3 | 0,70 - 0,65 | в мелкобитом разреженном льду | не менее 5 | 3-5 | 13 |
| Arc 4 - | 0,6 - 0,8 | разреженный однолетний | не менее 5 | 6-8 | 14 |
| Arc 5 | 0,8 - 1,0 | разреженный однолетний | не менее 5 | 6-8 | 14 |
| Arc 6 | 1,1 - 1,3 | разреженный однолетний | не менее 5 | 6-8 | 15 |
| Arc 7 | 1,4 - 1,7 | сплоченный однолетний | не менее 5 | 6-8 | 16 |
| Arc 8 | 2,1 - 3,0 | сплоченный двухлетний | не менее 5 | 10 | 17 |
| Arc 9 | 3,5 - 4,0 | очень сплоченный и сплошной многолетний | не менее 5 | 12 | 18 |
| Icebreaker6 | 1-1.5 | в сплошном льду | - | 2 | 15 |
| Icebreaker 7 | 1,5 - 5 | в битом льду толщиной | - | 2-4 | 17 |
| Icebreaker 8 | 2 м | в сплошном поле со снежным покровом 20 см | - | 2 | 18 |
| Icebreaker 9 | 2,5—2,9 | сплошного ровного припайного льда | - | 1,5-2 | 20 |
| Icebreaker (+) | 1,2 м | сплошного ровного припайного льда | - | 6 | 22 |

Таблица 2. Термы лингвистической переменной «Скорость»

| Диапазон значений | Характеристика термина | Обозначение термина |
|-------------------|------------------------|---------------------|
| [1..5] | низкий | SV_L |
| [5..8] | средний | SV_M |
| [8..12] | высокий | SV_H |
| [12..17] | очень высокая | SV_VH |

Таблица 3. Скорость плавания по маршруту следования

| Скорость, уз | Маршрут |
|--------------|---|
| 5 | 722 морских миль (6 дней) —1077 морских миль (8 дней 23,4 часа) - 253 морских миль (2 дня 2,6 часа) - 744 морских миль (6 дней 4,8 часа) - 2796 морских миль (23 дня 7,2 часа) |
| 6 | 722 морских миль (5 дней 1,3 часа) —1077 морских миль (7 дней 13 часов) - 253 морских миль (1 день 18,5 часа) - 744 морских миль (5 дней 5 часов) - 2796 морских миль (19 дней 13,7 часа) |
| 7 | 722 морских миль (4 дня 8 часов) —1077 морских миль (6 дней 11 часов) - 253 морских миль (1 день 12,4 часа) - 744 морских миль (4 дня 11 часов) - 2796 морских миль (16 дней 18,6 часа) |
| 8 | 722 морских миль (3 дня 17,5 часа) —1077 морских миль (5 дней 13,5 часа) - 253 морских миль (1 день 7,4 часа) - 744 морских миль (3 дня 20 часов) - 2796 морских миль (14 дней 10,7 часа) |
| 10 | 722 морских миль (3 дня) —1077 морских миль (4 дня 11,7 часа) - 253 морских миль (1 день 1,3 часа) - 744 морских миль (3 дня 2,4 часа) - 2796 морских миль (11 дней 15,6 часа) |
| 12 | 722 морских миль (2 дня 12,6 часа) —1077 морских миль (3 дня 18,5 часа) - 253 морских миль (21 час 25 минут) - 744 морских миль (2 дня 14,5 часа) - 2796 морских миль (9 дней 18,8 часа) |

По данным таблиц для определения времени по заданному расстоянию и скорости, примерно определено время в пути и составлена таблица с примерным количеством дней следования по маршруту (Магадан – 722 морских миль – Петропавловск-Камчатский –1077 морских миль - Анадырь -253 морских миль - Провиденция –744 морских миль - Певек – 2796 морских миль – Магадан), рассматриваемых в данной работе [6]. Эти данные, часть которых приведена в табл. 3, необходимы для дальнейшего составления базы правил, где выходной параметр – это количество дней в пути с учетом векторов навигации, скорости, маршрута и ледового класса судна. Карты-схемы ледовой обстановки явились базой для формирования правил в системе нечеткого вывода Мамдани (табл. 4) [7].

Основываясь на выше сказанном, сформируем систему правил для нечеткого вывода типа Мамдани. Система нечеткого вывода типа Мамдани работает согласно системе правил, фрагмент которых представлен в табл. 5.

На вход система нечеткого вывода типа Мамдани подаются входные значения, а на выходе формируется числовое значение - вещественное число, количество дней в пути. Параметры навигации, отсутствующие на рассмотренных ледовых картах, принимаются как «none» и не включены в таблицу 5.

Таблица 4. Ледовая обстановка по маршрутам следования

| Маршрут | Порт | Период/Дата | Возраст льда | Сплоченность льда | Форма льда |
|---------|---------|---------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | Магадан | 13-15/01/2019 | Серый лед (10-15 см) | 8-10 | Мелкобитый лед 2 - 20 м |
| | Анадырь | 8-10/01/2019 | Тонкий лед (30-70 см) | 0 | 100 - 500 м |

Следующим этапом является разработка модели в среде Matlab Fuzzy Logic Toolbox с выбором алгоритма нечеткого вывода типа Мамдани. Основываясь на выделенных терминах, задаются входные и выходной параметры. Например, для входного параметра «Торосистость», представленного на рис. 1, использовалась Гауссова функция принадлежности.

Параметрическая Гауссова функция принадлежности (1):

$$\mu(u) = \exp\left(-\frac{(u - b)^2}{2c^2}\right), \quad (1)$$

где u – вектор, для координат которого необходимо рассчитать степени принадлежности;

b – координата максимума функции принадлежности;

c – коэффициент концентрации функции принадлежности.

Для формирования структуры нечеткого вывода типа Мамдани в среде Matlab Fuzzy Logic Toolbox задаются все входные воздействия с определением их функции принадлежности и выходной параметр (рис. 2).

Таблица 5. Система правил системы нечеткого вывода типа Мамдани

| Маршрут | Период | Судно | Скорость | Возраст льда | Сплоченность льда | Форма льда | Дни (выход) |
|---------|--------|-------|----------|--------------|-------------------|------------|-------------|
| 1_R | S2 | 1C_V | SV_L | L_IA | H_IC | VL_IS | N_S |
| | S2 | | SV_L | L_IA | none | VL_IS | N_S |
| | S2 | | SV_L | VL_IA | H_IC | none | N_S |
| | S2 | 2C_V | SV_M | L_IA | H_IC | VL_IS | F_S |
| | S2 | | SV_M | L_IA | none | VL_IS | F_S |
| | S2 | | SV_M | VL_IA | H_IC | none | F_S |
| 2_R | S2 | 1C_V | SV_L | M_IA | M_IC | M_IS | N_S |
| | S2 | | SV_L | M_IA | none | BA_IS | N_S |
| | S2 | 2C_V | SV_M | M_IA | M_IC | M_IS | A_S |
| | S2 | | SV_M | M_IA | none | BA_IS | A_S |
| 3_R | S2 | 1C_V | SV_L | L_IA | H_IC | BA_IS | N_S |
| | S2 | | SV_L | L_IA | H_IC | M_IS | N_S |
| | S2 | 2C_V | SV_M | L_IA | H_IC | BA_IS | A_S |
| | S2 | | SV_M | L_IA | H_IC | M_IS | A_S |
| 4_R | S2 | 1C_V | SV_L | H_IA | H_IC | none | N_S |
| | S2 | 2C_V | SV_L | H_IA | H_IC | none | S_S |

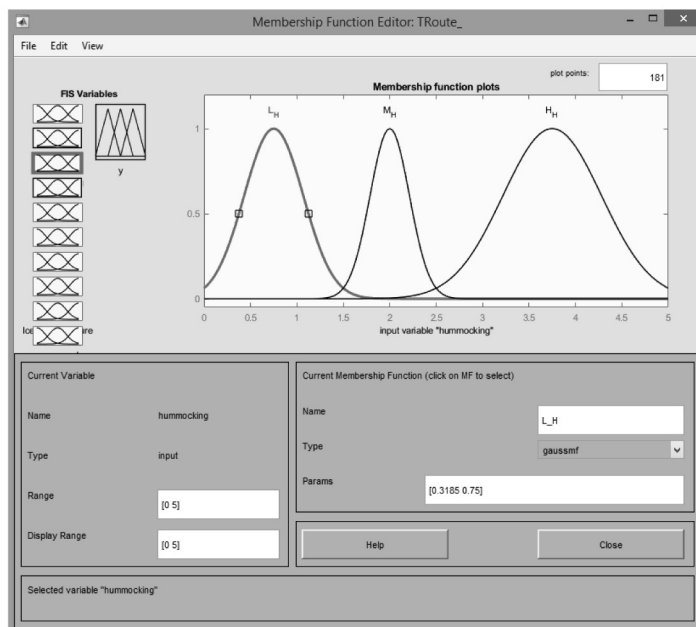


Рис. 1. Входной параметр «Торосистость»

Формирование базы правил нечеткого вывода типа Мамдани в среде Matlab Fuzzy Logic осуществляется посредством редактора правил, который представлен на рис. 3.

В среде Matlab Fuzzy Logic сформированные правила визуализируются в окне “Rule”, где указываются значения входных переменных, для которых выполняется нечеткий логический вывод (рис. 4).

Данный инструмент позволяет увидеть трёхмерную поверхность

зависимости выходных переменных (рис. 5).

Для более удобного просмотра работы нечёткого вывода типа Мамдани реализована программа на высокоуровневом языке программирования MATLAB с помощью интерактивного инструмента GUIDE, который представлен на рис. 6.

Данная программа – часть интеллектуальной системы для расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях.

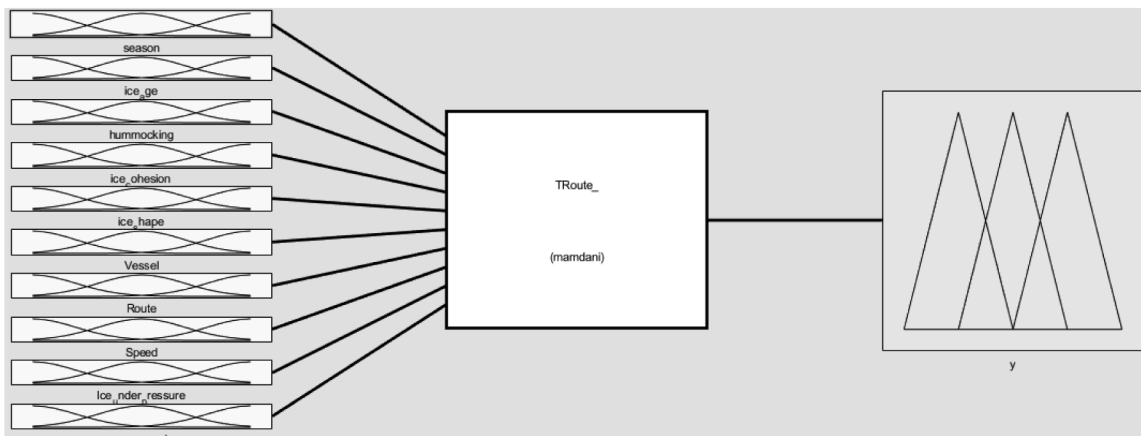


Рис. 2. Структуру нечеткого вывода типа Мамдани

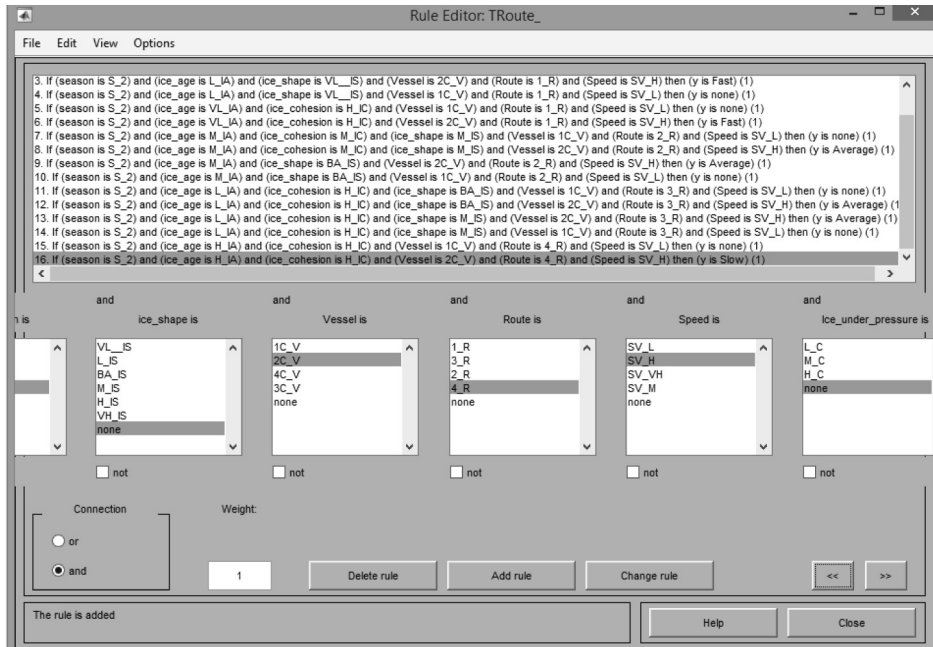


Рис. 3. Базы правил нечеткого вывода типа Мамдани

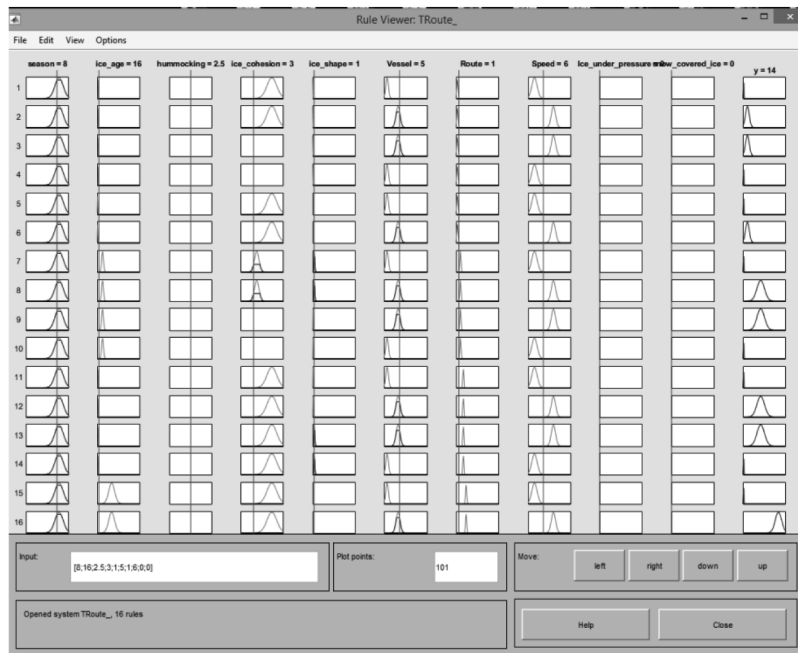


Рис. 4. Визуализация нечеткого вывода типа Мамдани

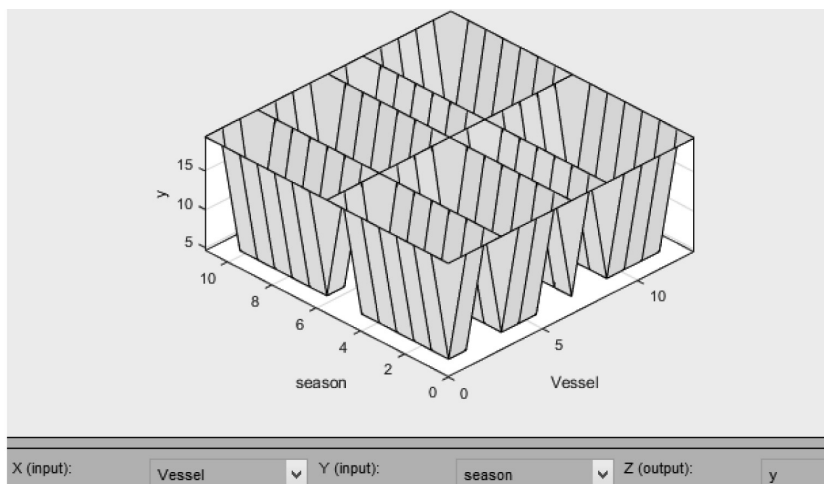


Рис. 5. Трёхмерную поверхность зависимости выходных переменных

The screenshot shows a window titled "Route" with a list of input parameters and their values:

- Период: 8
- Возраст: 30
- Торосистость: 0
- Сплоченность льда: 4
- Форма льда: 15
- Судно: 7
- Маршрут: 8
- Скорость: 10
- Сжатие: 0
- Заснеженность: 0

Below these inputs, there is a section for "Количество дней в пути" (Number of days in the journey) with a value of 3.75 and a label "Fast". At the bottom, there are two buttons: "Запуск" (Start) and "Закрыть" (Close).

Рис. 6. Визуализация БПНП нечёткого вывода типа Мамдани

Таким образом, сформирована БПНП, содержащая 294 правила нечётких продукций, на основе расчетных данных. Следующий этап – это проверка работоспособности, а именно, формирование обучающей выборки из натуральных данных. В среде Matlab Fuzzy Logic Toolbox не предусмотрена настройка моделей типа Мамдани, для решения этой задачи будем использовать инструмент Optimization Toolbox в Matlab. В результате настройки будет получена новая нечеткая модель типа Мамдани с оптимальными функциями принадлежности и весами. Данная нечеткая модель типа Мамдани является компонентом модели для расчета эффективности организации морских грузоперевозок в арктических условиях.

Литература:

1. Sobolevskaya E Yu, Glushkov S V, Levchenko N G and Orlov A P. Development of efficiency module of organization of Arctic sea cargo transportation with application of neural network technologies Journal of Physics: Conference Series V. 1015, may 2018 [Electronic resource] - Access mode: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1015/4/042057/pdf>, свободный. – (дата обращения: 15.02.2019).
2. Соболевская Е.Ю., Глушков С.В., Левченко Н.Г. Архитектура интеллектуальной системы организации арктических морских грузоперевозок / Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Научный журнал Выпуск №4(19) 2017. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2017/10/Sobolevskaya_4_1_17.pdf, свободный. – (дата обращения: 10.03.2019).
3. Морское судовождение / Г.Г. Ермолаев, Л.П. Андронов, Е.С. Зотеев и др.– Москва: Транспорт, 1970. – 375 с.
4. Федеральное государственное бюджетное учреждение Администрация северного морского пути [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nsga.ru>, свободный. – (дата обращения: 15.03.2019)
5. Федеральное государственное унитарное предприятие ФГУП «Росморпорт» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.rosmorport.ru>, свободный. – (дата обращения: 15.03.2019)
6. Таблицы морских расстояний. Управление начальника Гидрографической службы ВМФ, 1958. – 225 с.
7. Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» (ФГБУ «НИЦ «Планета») [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://planet.iitp.ru/index1.html> – (дата обращения: 25.03.2019)