

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-239-251

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DECISIONS MAKING BY THE NAVIGATOR

S. G. Fadyushin

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

The content of the paper belongs to the field of interdisciplinary scientific research, which lies at the intersection of cognitive psychology and navigation, and is devoted to the topic of decision-makings by a navigator that is relevant for navigation. The results of the author's theoretical research on the formalization of some aspects of human mental activity and their representation in practical implementation for solving problems of navigation are reflected in the paper. The human factor is a complex multidimensional problem that covers the entire spectrum of human activities at sea. Only a small part of this problem is described in the paper, which is of a debatable theoretical nature. The specificity of the study is that the navigator is, first of all, a person who makes not just decisions, but decisions with sense. Therefore, the navigator inclusion into the ship control link leads to the need to simultaneously take into account the navigator psychological characteristics, his ability to make meaningful decisions, and the characteristics of the ship controllability as an object of control. At the same time, the decisions made by the navigator are subjective and difficult to formalize. The purpose of the study is to formalize, i.e., to describe mathematically the quantitative assessment of decision making by the navigator.

To calculate the amount of meaning in the decisions made by the navigator, the method of probabilistic evaluation of the sense in a text message is used. A model in the form of a semantic prism is proposed as a structure of the semantic space where the navigator makes decisions. The results obtained on a practical example are adapted to the concepts of navigation and therefore may be of interest to specialists in ship traffic control automation, artificial intelligence, creation of intelligent control systems and navigation safety.

Keywords: navigation, human factor of navigation, safety of navigation, ship control, entropy.

For citation:

Fadyushin, Sergey G. "Mathematical description of the quantitative assessment of decisions making by the navigator." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.2 (2020): 239–251. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-239-251.

УДК 656.61.052

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СУДОВОДИТЕЛЕМ

С. Г. Фадюшин

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

Статья относится к междисциплинарным научным исследованиям, лежащим на стыке когнитивной психологии и судовождения, и посвящена актуальной для мореплавания теме принятия решений судоводителем. В ней отражены результаты теоретических исследований по формализации некоторых аспектов мыслительной деятельности человека и представлена их практическая реализация для решения задач судовождения. Рассмотрена сложная многомерная проблема, охватывающая весь спектр человеческой деятельности на море. В данной работе, которая носит дискуссионно-теоретический характер, освещена лишь небольшая часть этой проблемы. Специфика исследования состоит в том, что судоводитель — это прежде всего человек, принимающий решения, наделенные смыслом. Поэтому включение судоводителя в звено управления судном приводит к необходимости одновременного учета его психологических характеристик и характеристик управляемости судна как объекта управления. При этом принимаемые судоводителем решения носят субъективный характер и трудно поддаются формализации.

Цель исследования заключается в формализации, т. е. в математическом описании количественной оценки принятия решений судоводителем. Для этого используется авторская методика вероятностной оценки смысла в текстовом сообщении. В качестве структуры смыслового пространства, в координатах которого судоводитель принимает решения, предлагается модель в виде смысловой призмы. Полученные

результаты на практическом примере адаптированы к понятиям судовождения и поэтому могут представлять интерес для специалистов по автоматизации управления движением судна, искусственному интеллекту, созданию интеллектуальных систем управления и безопасности мореплавания.

Ключевые слова: судовождение, человеческий фактор судовождения, безопасность судовождения, управление судном, энтропия.

Для цитирования:

Фадюшин С. Г. Математическое описание количественной оценки принятия решений судоводителем / С. Г. Фадюшин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С.239–251. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-239-251.

Введение (Introduction)

Ряд серьезных морских аварий и катастроф, которые произошли в конце XX в., заставил международное морское сообщество переосмыслить систему безопасности мореплавания и по-новому взглянуть на проблему, связанную с принятием решений судоводителем при управлении движением судна. Так, в 1997 г. Международная морская организация (ИМО) приняла Резолюцию «А.850(20). Концепция человеческого элемента, принципы и цели организации (ИМО)», в которой отмечается, что человеческий элемент — это комплексный, многогранный вопрос, затрагивающий безопасность на море и защиту морской окружающей среды.

Резолюция ИМО явилась мощным стимулом к проведению научных исследований в области человеческого фактора. Изучаются способности судоводителя действовать в экстремальных навигационных ситуациях и сложных условиях плавания [1]. Исследуется роль человеческого фактора как психологической составляющей в обеспечении безопасности и профессиональной надежности судоводителя в экстремальных, сложных условиях чрезвычайной ситуации. В работе [2] представлен обзор действия человеческого фактора в области таких характеристик и особенностей поведения и деятельности, как усталость, стресс, здоровье, осведомленность о ситуации, совместная работа, принятие решений, связь, автоматизация и культура безопасности. Человеческий элемент (фактор) учитывается при проведении исследований в рамках проекта e-Navigation ИМО [3]. Однако несмотря на достигнутый прогресс, следует отметить, что проблема человеческого фактора в судовождении пока еще далека от своего окончательного решения. По среднестатистическим данным, на долю этого фактора приходится в среднем 70–80 % аварий¹ [4]–[6]. На водном транспорте эта цифра, по данным некоторых источников, достигает 90 %².

При проведении исследований по проблеме человеческого фактора часто не принимается во внимание тот факт, что «система управления подвижным объектом (кораблем, судном, самолетом) является человеко-машинной и состоит из регулятора, в состав которого входят также оператор (вахтенный судоводитель, пилот) и объект регулирования, которым является подвижной объект как инженерное сооружение» [7]. Включение судоводителя в звено управления судном в качестве элемента технического регулятора вносит ряд существенных проблем, так как при этом необходимо одновременно учитывать и психологические характеристики судоводителя, и характеристики управляемости судна. В случае, если характеристики управляемости в основном формализованы и учитываются техническим регулятором, то решения по управлению движением судна, которые принимает судоводитель, носят субъективный характер и, следовательно, трудно поддаются формализации. Одним из путей решения этой проблемы может быть нормирование (количественная оценка) человеческого фактора «... большой интерес может представить попытка нормирования человеческого фактора, т. е. количественная оценка степени нашей уверенности в том, что его влияние на безопасность судна будет сведено к минимуму» [7, с. 6]. В этом науч-

¹ Информационный бюллетень «INTERTANKO». Tanker incidents. 2008. 27 с.

² Количество аварий на водном транспорте в 2015 году увеличилось на 62%, большая часть приходится на рыбопромысловые суда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://portnews.ru/top_news/216552/ (дата обращения: 28.08.2018). Human Element International Maritime Organization. Web. 28 Aug. 2018 <<http://www.imo.org/OurWork/HumanElement/Pages/Default.aspx>>/.

ном направлении уже проводятся исследования. Например, в работе [8] дано обоснование метода количественной оценки влияния человеческого фактора на навигационную безопасность плавания судна. Этот метод положен в основу превентивного регулирования человеческого фактора в процессе судовождения. По сути, предлагается новая методология, которая позволяет отказаться от бинарного подхода к оценке качества систем управления безопасностью и перейти к количественной оценке.

Цель данного исследования заключается в математическом описании (формализации) количественной оценки принятия решений судоводителем. Специфика исследования состоит в том, что судоводитель — это прежде всего человек, имеющий определенные личностные характеристики, которые описываются категориями психологии. Поэтому первый этап исследования выполнен в контексте понятий психологии, а затем полученные результаты адаптированы для судовождения. Человеческий элемент представляет собой сложную многомерную проблему, которая охватывает весь спектр человеческой деятельности на море. В данной работе описывается лишь небольшая часть этой сложной проблемы. С результатами исследований по теме человеческого фактора также можно ознакомиться в работах [9]–[12].

Основу данного исследования составляет работа [9], в которой описана методика вероятностной оценки количества смысла в текстовом сообщении, согласно которой для количественной оценки смысла рассчитывается разность энтропий ΔH смежных слов по всему тексту. Гистограмма разности энтропий показывает, что ΔH как случайная величина имеет экспоненциальный закон распределения, параметрами которого можно оценить величину смысла. Для оценки предлагается использовать такой параметр, как дифференциальная энтропия $H(\Delta H)$. Чем больше величина дифференциальной энтропии экспоненциального распределения случайной величины ΔH , тем больше смысла и наоборот. Данная закономерность дает возможность использовать дифференциальную энтропию для количественной оценки смысла целенаправленной осознанной деятельности человека в качестве психометрического критерия M : $M = H(\Delta H)$.

При оценке смысла сравниваются и анализируются значения критериев оценки смысла исходного M_s и вероятностного M_p текстов¹:

- если $M_s > M_p$, то, вероятнее всего, исходный текст содержит смысл;
- если $M_s \leq M_p$, то, вероятнее всего, исходный текст не содержит смысла.

В принятых терминологических понятиях психологии гипотеза исследования заключается в том, что за основной элемент смыслового пространства² принята интенция, базисом которой служат такие структурообразующие элементы как знак, денотат (значение) и смысл. С точки зрения судовождения, «интенция» — это план (замысел) судоводителя, направленный на решение задачи по управлению движением судна и показывающий субъективную цель судоводителя при ее решении.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В основе математического описания лежат такие понятия из области психологии, как знак, денотат, смысл, интенция, которые образуют структуру смыслового пространства. В качестве объекта исследования используется текст как отражение (формализованный образ) целенаправленной деятельности человека, в том числе мыслительной, связанной с принятием решений судоводителем. Пример использования текста для исследования структурных элементов смысловой реальности: «Мы понимаем не текст, а мир, стоящий за текстом...» [14, с. 4].

Значение понятий *знак*, *денотат* и *смысл* описывается в классическом труде по феномену смысла Г. Фреге «Смысл и денотат». В этой работе ученым было исследовано связанное словосочетание «значение-смысл». В частности, денотат (значение) знака (слово, словосочетание) — это определенная вещь в самом широком смысле слова, которую обозначает и суждение, о которой

¹ Вероятностный текст — исходный текст, в котором слова переставлены случайным образом.

² В психологии смысла для обозначения структуры и динамики смысловых феноменов и процессов принят термин «смысловая реальность» [13]. В данной работе используется тождественное, но менее широкое понятие «смысловое пространство» как один из элементов смысловой реальности.

сигнализирует знак; смысл — это способ представления денотата, связующий знаки в единое целое (осмысленный текст) [15]. Введенные Г. Фреге понятия вошли в основу образного представления семантической (смысловой) реальности в виде плоской фигуры — семантического треугольника, вершинами которого являются: знак, денотат и смысл.

Приняв за основу понятия, введенные Г. Фреге, в данной работе смысловое пространство представлено как совокупность следующих структурных элементов: знак, денотат, смысл, интенция. Значение этих элементов поясним на следующем примере. Предположим, если человек берет орудие лова (знак — «орудие лова»), то это означает, что он собирается ловить рыбу (денотат — «лов рыбы»), чтобы добыть пищу (интенция — «добывание пищи»). В этом действии смысл прослеживается через отношение цели (интенции) «добывание пищи» к потребности «обеспечение питанием» и заключается в суждении «человек идет на рыбалку добывать рыбу, чтобы обеспечить себя питанием». Но собираясь на рыбную ловлю, другой человек может преследовать другую цель (например, отдых на лоне природы). При этом знак и денотат останутся теми же: «орудие лова» и «лов рыбы», а смысл будет заключаться в суждении «человек идет на рыбалку, чтобы отдохнуть на лоне природы». В этом случае интенцию можно описать выражением «отдых на лоне природы».

Методика, использованная при исследовании структуры смысловой реальности, основана на следующих посылах:

– «...под знаком (или именем) я понимаю любое обозначение, выступающее в роли имени собственного» [15, с. 354];

– «Денотатом [Bedeutung] предложения является его истинностное значение [Wahrheitswert], а смыслом [Sinn] — некоторое суждение [Gedanke]» [15, с. 378];

– «Смысл и денотат знака следует отличать от соответствующего этому знаку представления. Если денотат знака — это вещь, данная нам в ощущениях, то мое представление об этой вещи есть внутренний образ, возникший у меня на основе моих впечатлений от этой вещи, а также в результате моей деятельности, физической и мыслительной, связанной с этой вещью» [15, с. 356];

– «представление» по Г. Фреге в контексте данной работы это и есть интенция.

Для анализа и оценки каждого из структурных элементов смыслового пространства проведен эксперимент, заключающийся в воспроизведении исходного эталонного текста из набора случайным образом распределенных слов этого же исходного текста. За основу взят текст [16, с. 117–118], который был приведен к вероятностному виду путем случайной перестановки в нем слов по предложениям. В результате получился набор ключевых слов. Затем участникам эксперимента по этому набору предлагалось воспроизвести исходный текст в собственной интерпретации, т. е. допускалось добавлять свои слова и использовать в предложениях произвольный порядок слов. В заключение участникам предлагалось ответить на вопрос: «О чем этот текст?». В эксперименте участвовали студенты 1-го курса МГУ им. адм. Г. И. Невельского и 4-го курса ДВФУ. Всего было проанализировано 50 воспроизведенных текстов. Количество знаков определялось путем подсчета количества слов в исходном и восстановленном текстах.

Денотат оценивался как количество информации в тексте, рассчитанной по формуле К. Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i,$$

где H — энтропия множества вероятностей p_i ; p_i — вероятность появления какой-либо буквы в тексте.

Способность участника эксперимента понять и воспроизвести смысл исходного текста оценивалась путем расчета количества смысла в восстановленном тексте и сравнения его с количеством смысла в исходном. Для расчета использовалась методика, описанная в статье [9]. При сравнении исходного текста с восстановленным по величине смысла для обоих типов текста (исходного и восстановленного) рассчитывалась величина ΔMs : $\Delta Ms = Ms / Mp$. Было установлено следующее: чем больше значение ΔMs , тем больше смысла в тексте и наоборот. Результаты, полученные после расчетов, представлены в следующей таблице.

**Оценка структурных элементов смыслового пространства
 в исходном и восстановленном тексте**

Структурный элемент смыслового пространства	Исходный текст	Восстановленный текст
Знак	1,00	0,81
Денотат	4,48	4,47
Смысл	1,57	1,65

Примечание. Табличные данные показывают количество бит, приходящееся на один символ текста. При этом условно принято, что для исходного текста один символ соответствует одному биту. Для восстановленного текста количество бит рассчитано по отношению к исходному тексту. Интенция оценивалась по ответам на вопрос: «О чем этот текст?»

Приведенные в таблице данные показывают, что для восстановления исходного текста участники эксперимента использовали меньшее количество слов (в среднем 246 слов) и уровень информативности полученных текстов (в среднем 4,47 бит на символ) оказался меньше, чем в исходном тексте (4,48 бит на символ). Очевидно, это связано с тем, что уровень эрудированности автора исходного текста выше, чем у респондентов. Однако по уровню осмысленности тексты участников эксперимента не уменьшились, а, наоборот, увеличились по сравнению с уровнем осмысленности исходного текста (показатель осмысленности ΔMs для исходного текста — 1,57, для восстановленного — 1,65). На основании ранее изложенного был сделан вывод о том, что человек по случайному набору слов исходного текста в состоянии воспроизвести смысл исходного текста и более того, творчески подходя к этому процессу, способен вложить в реконструированный текст свою «долю» смысла.

Полученные результаты показывают, что участники эксперимента использовали достаточное количество ключевых слов и смогли правильно оценить денотат исходного текста. Однако, судя по ответам на поставленный вопрос: «О чем этот текст?», интенция (представление о какой-либо вещи, ее внутренний образ в сознании человека) меняется от человека к человеку, так как ответы на этот вопрос у всех респондентов оказались разными. Интенция — это продукт мыслительной деятельности каждого отдельно взятого человека. Поэтому логично предположить, что добавочная «доля» смысла обязана своим появлением именно интенции. Тем самым подтверждается гипотеза исследования. Полученные результаты легли в основу математического описания человеческого фактора.

Результаты (Results)

В абстрактных математических понятиях семантический треугольник Г. Фреге представляет собой структуру смыслового пространства на плоскости, структурообразующими элементами которого являются знак, денотат и смысл. Если к этим элементам добавить интенцию, то для формального изображения структуры смыслового пространства можно использовать прямоугольную систему координат в пространстве. В этой системе знак, денотат и смысл — единичные координатные векторы (орты), образующие базис, интенция — вектор смыслового пространства. При разложении вектора интенции по базису структуру смыслового пространства можно представить в виде прямоугольного параллелепипеда (смысловой призмы) — рис. 1, где оси пространственной системы координат имеют следующие обозначения: ось X — знак, Y — денотат, Z — смысл. Знак, денотат и смысл представлены в безразмерном виде с сохранением пропорций по данным таблицы.

В пространственной системе координат интенцию можно представить в виде вектора \vec{G} , разложенного по единичным векторам $\vec{a}, \vec{b}, \vec{s}$, представляющим соответственно знак, денотат и смысл:

$$\vec{G} = g_x \vec{a} + g_y \vec{b} + g_z \vec{s},$$

где g_x, g_y, g_z — коэффициенты (координаты) интенции по соответствующим осям, показывающие сколько в среднем бит приходится на один знак.

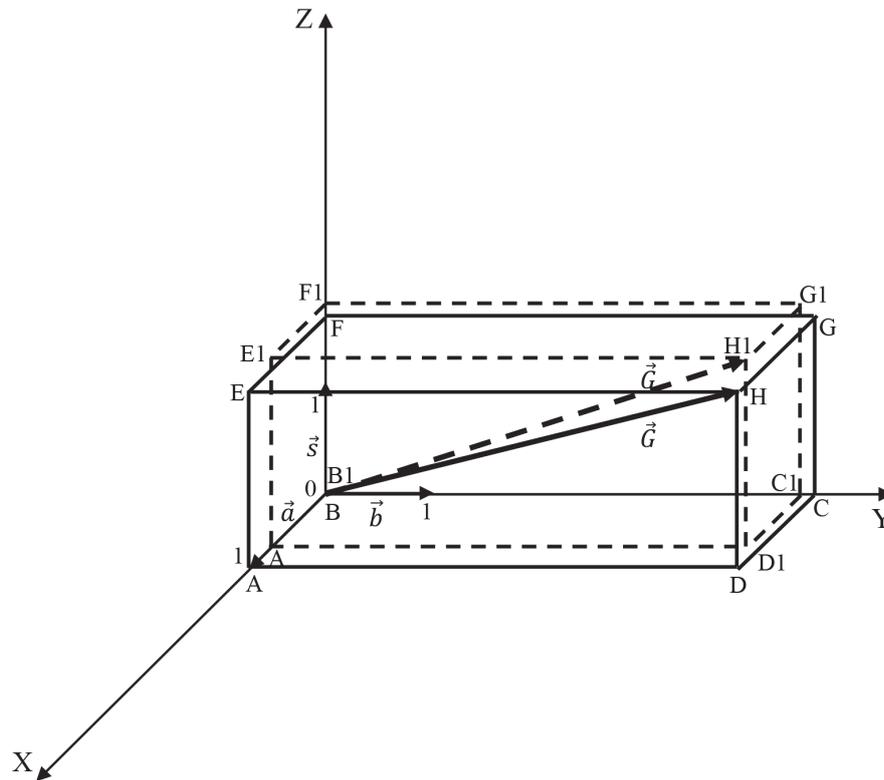


Рис. 1. Структура смыслового пространства

Условные обозначения:

$\vec{a}, \vec{b}, \vec{s}$ — единичные векторы (орты), соответственно, знака, денотата и смысла;
 \vec{G} — вектор интенции; $ABCDEF GH$ — прямоугольный параллелепипед (смысловая призма) исходного текста; $A1B1C1D1E1F1G1H1$ — прямоугольный параллелепипед (смысловая призма) восстановленных текстов

По данным таблицы, вектор интенции для исходного текста будет иметь вид

$$\vec{G} = g_x \vec{a} + 4,5\vec{b} + 1,6\vec{s},$$

где коэффициент g_x условно принят равным единице и зависит от вида кодировки алфавита, например, для русскоязычного текста в кодировке KOI8-R коэффициент g_x будет равен восьми, так как в этой кодировке на один символ приходится 8 бит.

Для восстановленных текстов

$$\vec{G} = 0,8\vec{a} + 4,4\vec{b} + 1,7\vec{s}.$$

От теоретических выкладок, полученных при анализе текста как объекта исследования, перейдем непосредственно к человеческому фактору судовождения. Если считать текст как отражение мыслительной деятельности человека, то в интерпретации понятий судовождения знак, денотат и смысл имеют следующие значения:

- «знак» — точка принятия решения судоводителем (промежуточная точка траектории движения);
- «денотат» — энтропия системы «судоводитель – судно – объект маневра»;
- «смысл» — статистический параметр, показывающий эффективность принимаемых решений;
- «интенция» — замысел судоводителя, т. е. план действий.

Для перехода от понятий психологии к понятиям судовождения рассмотрим следующий пример. Судну, ведущему лов в районе промысла, необходимо сблизиться с подвижным косяком рыб. Сближение осуществляется по траектории, координаты и параметры которой предваритель-

но рассчитаны по известным в промысловом судовождении методам, с которыми можно ознакомиться в работах [17], [18], обобщением которых является *метод пропорциональной навигации*, изложенный в работе [19]. Цель этого метода — связать угловую скорость поворота линии пеленга с угловой скоростью поворота вектора скорости судна через коэффициент пропорциональности, который называется *навигационной постоянной*. При реализации данного метода необходимо постоянно измерять угловую скорость поворота линии пеленга на объект маневра и сравнивать ее с угловой скоростью поворота вектора скорости судна.

Предположим, что при сближении судна с косяком рыб угол дрейфа равен нулю, т. е. вектор скорости судна направлен вдоль диаметральной плоскости. Тогда уравнение метода пропорциональной навигации будет иметь следующий вид:

$$\dot{K}_c = b\dot{P}, \quad (1)$$

где \dot{K}_c — скорость изменения курса судна; \dot{P} — скорость изменения пеленга на объект маневра; b — коэффициент пропорциональности (навигационная постоянная).

Судоводитель как регулятор управления не в состоянии реализовать уравнение (1). Для этого ему бы понадобилось в каждый момент времени измерять угловую скорость линии пеленга на объект маневра и сравнивать ее с угловой скоростью поворота вектора скорости судна, что практически для человека не осуществимо. Поэтому при наведении судна на подвижный объект (косяк рыб) при заданном векторе его движения по дистанции D и пеленгу рассчитываются координаты промежуточных точек траектории движения относительно точек местоположения объекта маневра K_0, K_1, \dots, K_n . При таком способе сближение осуществляется по промежуточным точкам C_0, C_1, \dots, C_m на прямых курсах до точки встречи TB (рис. 2).

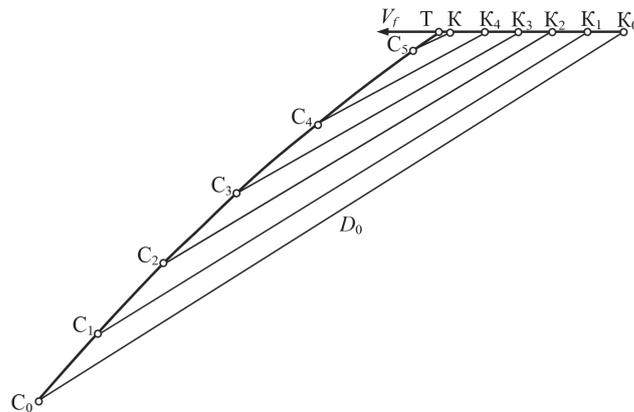


Рис. 2. Кинематическая траектория судна при сближении с объектом маневра методом пропорциональной навигации

Промежуточные точки имеют двойственное значение: с одной стороны, это детерминированные точки кинематической траектории движения, с другой — точки, в которых судоводитель принимает решения по управлению движением судна, т. е. это точки, частота которых зависит от множества случайных причин, включая человеческий фактор.

Случайное распределение точек в поле траектории удовлетворяет следующим условиям:

1. Точки распределяются статистически равномерно.
2. Точки распределяются независимо друг от друга.
3. Вероятность попадания на малый участок двух или более точек пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью попадания одной точки.

В теории вероятностей заданным условиям соответствует закон распределения случайной величины, называемый *законом Пуассона*.

По закону Пуассона вероятность того, что величина X (количество точек) примет определенное значение m , выражается формулой

$$P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a} (m = 0, 1, \dots), \quad (2)$$

где a — некоторая положительная величина, называемая параметром закона Пуассона, представляющая собой среднее число точек, приходящееся на отрезок l траектории движения.

Тогда для расчета энтропии, которая необходима для нахождения денотата и смысла, можно воспользоваться известной формулой К. Шеннона:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^m p_m \log_2 p_m, \quad (3)$$

где p_m — вероятность того, что количество точек примет значение m .

Учитывая, что промежуточные точки траектории движения также являются точками принятия решений, p_m можно трактовать как вероятность возможных состояний системы: «судоводитель – судно – объект маневра» в m -й точке траектории движения.

В математическом виде «интенцию» как план действий судоводителя можно представить в виде вектора \vec{G} , разложенного по единичным векторам $\vec{a}, \vec{b}, \vec{s}$:

$$\vec{G} = g_x \vec{a} + g_y \vec{b} + g_z \vec{s}, \quad (4)$$

где $\vec{a}, \vec{b}, \vec{s}$ — коэффициенты (координаты) «интенции» по соответствующим осям, показывающие сколько в среднем бит приходится на одну промежуточную точку траектории движения.

Расстояние между концами вектора «интенции» эталонной ситуации \vec{G}_0 и вектора «интенции» текущей ситуации \vec{G}_j определяет расстояние оценки текущей ситуации относительно оценки эталонной ситуации и выражается вектором $\vec{\gamma}_t$. Чем меньше модуль $\vec{\gamma}_t$, тем ситуация ближе к эталонной. При заданном значении модуля эталонной ситуации $|\vec{\gamma}_{t0}|$ и сравнении с ним модуля $|\vec{\gamma}_t|$.

$$|\vec{\gamma}_t| \leq |\vec{\gamma}_{t0}| \quad (5)$$

происходит распознавание ситуации как соответствующей заданной эталонной. Это дает возможность судоводителю принимать соответствующие обоснованные решения по управлению судном.

Пример. В качестве примера рассмотрим абстрактную¹ ситуацию сближения судна с объектом маневра. Траекторию движения судна разделим на три участка разной длины (рис. 3).

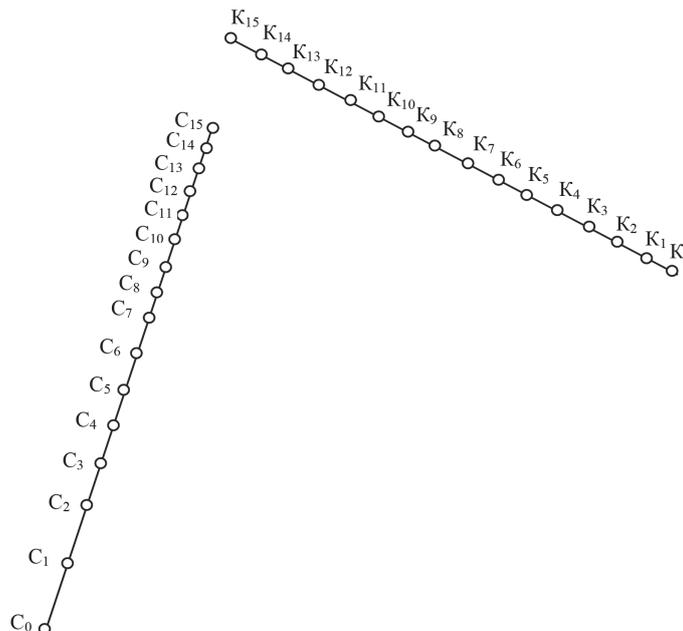


Рис. 3. Ситуация сближения судна с объектом маневра:
С — судно; К — объект маневра

¹ Приведенный пример служит наглядным подтверждением полученных результатов и не описывает конкретную ситуацию, которой, например, может быть сближение двух судов.

Первый участок — точки C_0-C_2 , второй — C_3-C_7 , третий — C_8-C_{15} . Неравномерный характер распределения точек по траектории движения, плотность которых возрастает с уменьшением расстояния до объекта маневра, является косвенным доказательством того, что в этих точках судоводителем принимались решения.

Решение

1. По формуле (3) рассчитаем энтропию («денотат») системы «судоводитель – судно – объект маневра» для каждого из участков траектории движения. Для этого по формуле (2) определяем вероятности соответствующих точек:

– первый участок:

$$P_3 = \frac{a^3}{3!} e^{-a} = 0,223618;$$

– второй участок:

$$P_5 = \frac{a^5}{5!} e^{-a} = 0,152814;$$

– третий участок:

$$P_8 = \frac{a^8}{8!} e^{-a} = 0,011867.$$

Находим энтропию («денотат»):

$$H(X) = -\sum_{i=1}^m p_m \log_2 p_m = -0,97328 \text{ бит / символ.}$$

2. Определяем эффективность принимаемых судоводителем решений («смысл»). Для этого рассчитываем значения энтропий для каждого участка траектории.

Энтропия первого участка:

$$H(X)_1 = -\sum_{i=0}^2 p_3 \log_2 p_3 = -0,48321 \text{ бит / символ.}$$

Энтропия второго участка:

$$H(X)_2 = -\sum_{i=3}^7 p_5 \log_2 p_5 = -0,41415 \text{ бит / символ.}$$

Энтропия третьего участка:

$$H(X)_3 = -\sum_{i=8}^{15} p_8 \log_2 p_8 = -0,07591 \text{ бит / символ.}$$

Находим разности энтропий:

$$\Delta H_1 = |\Delta H(X)_1| - |\Delta H(X)_2| = 0,06906 \text{ бит / символ;}$$

$$\Delta H_2 = |\Delta H(X)_2| - |\Delta H(X)_3| = 0,33824 \text{ бит / символ.}$$

Находим дифференциальную энтропию экспоненциального распределения разности энтропий текущей ситуации:

$$M_s = H(\Delta H) = -0,591353 \text{ бит / символ.}$$

Находим дифференциальную энтропию экспоненциального распределения разности энтропий вероятностной ситуации, для которой вероятности распределим в следующем случайном порядке: P_8, P_2, P_3 ¹. Выполнив расчеты для нового порядка распределения вероятностей по тем же

¹ По аналогии с текстом вероятностная ситуация будет соответствовать тексту, в котором слова исходного текста переставлены в случайном порядке. В таком тексте и, соответственно, вероятностной ситуации по умолчанию количество смысла будет равно нулю. Поэтому величина смысла в них может быть принята в качестве своеобразного нуля отсчета количества смысла для исходного текста и, соответственно, текущей ситуации.

формулам, что и для текущей ситуации, получим дифференциальную энтропию экспоненциального распределения разности энтропий вероятностной ситуации:

$$M_p = H(\Delta H) = -0,591352 \text{ бит / символ.}$$

Для текущей и вероятностной ситуаций рассчитывается величина ΔMs : $\Delta Ms = Ms / Mp$. Чем больше значение ΔMs , тем больше «смысла» в действиях судоводителя и наоборот¹.

$$\Delta Ms = \frac{Ms}{Mp} = \frac{-0,591353}{-0,591352} = 1,0000017.$$

3. С учетом полученных результатов, вектор «интенции» для текущей ситуации будет иметь вид:

$$\vec{G}_j = \vec{a} + 0,9732800\vec{b} + 1,0000017\vec{s},$$

где коэффициент g_x условно принят равным единице².

Вектор «интенции» эталонной ситуации находится по тем же формулам, что и для текущей. В качестве примера эталонной ситуации может служить ситуация, изображенная на рис. 2. Для примера предположим, что

$$\vec{G}_0 = \vec{a} + 0,9832800\vec{b} + 1,0000007\vec{s}.$$

4. По известной в аналитической геометрии формуле рассчитаем расстояние между концом вектора «интенции» эталонной ситуации \vec{G}_0 и концом вектора «интенции» текущей ситуации \vec{G}_j :

$$|\vec{\gamma}_t| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} = 0,01.$$

6. Полученное значение модуля $|\vec{\gamma}_t|$ сравниваем с заданным значением модуля $|\vec{\gamma}_{t0}|$, которое рассчитывается с учетом существующих норм судовождения и хорошей морской практики. Предположим $|\vec{\gamma}_{t0}| = 0,02$. В этом случае условие (5) запишется в виде:

$$0,01 \leq 0,02.$$

Так как условие выполняется, можно сделать вывод о том, что текущая ситуация соответствует заданной эталонной, т. е. судоводитель в этой ситуации принимает правильные решения.

Выводы (Conclusions)

Основные результаты проведенного исследования состоят в следующем:

- описана структура смыслового пространства в пространственной системе координат в виде абстрактного математического объекта — смысловой призмы;
- определены структурные элементы смыслового пространства: знак, денотат, смысл, интенция.

Статистический анализ текстов, восстановленных по ключевым словам исходного текста, подтвердил основной тезис гипотезы исследования, что интенция — это главный структурный элемент. Знак, денотат и смысл — структурообразующие элементы, составляющие фундамент смыслового пространства.

В интерпретации понятий судовождения интенция, знак, денотат и смысл имеют следующие значения:

- «интенция» — замысел судоводителя, т. е. план действий;
- «знак» — точка принятия решения судоводителем (промежуточная точка траектории движения);
- «денотат» — энтропия системы «судоводитель – судно – объект маневра»;

¹ В примере рассматривается гипотетическая ситуация, поэтому полученные результаты могут отличаться от результатов реальной ситуации и иметь малые величины.

² Для текста коэффициент g_x зависит от вида кодировки алфавита.

— «смысл» — статистический параметр, показывающий эффективность принимаемых судоводителем решений.

Переход от понятий психологии к понятиям судовождения позволил на практическом примере адаптировать математическое описание структуры смыслового пространства в психологическом аспекте к математическому описанию количественной оценки принятия решений судоводителем.

Полученные результаты могут представлять интерес для специалистов по автоматизации управления движением судна, искусственному интеллекту, созданию интеллектуальных систем управления и безопасности мореплавания.

Человеческий элемент представляет собой сложную многомерную проблему, которая охватывает весь спектр человеческой деятельности на море. Нормирование (количественная оценка) принятия решений судоводителем также является сложной исследовательской задачей. В данной работе описывается лишь небольшая часть этой сложной, многогранной и многомерной проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Akten N.* Analysis of shipping casualties in the Bosphorus / N. Akten // *The Journal of Navigation*. — 2004. — Vol. 57. — Is. 3. — Pp. 345–356. DOI: 10.1017/S0373463304002826.
2. *Hetherington C.* Safety in shipping: The human element / C. Hetherington, R. Flin, K. Mearns // *Journal of safety research*. — 2006. — Vol. 37. — Is. 4. — Pp. 401–411. DOI: 10.1016/j.jsr.2006.04.007.
3. *Patraiko D.* e-Navigation and the Human Element / D. Patraiko, P. Wake, A. Weintrit // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. — 2010. — Vol. 4. — № 1. — Pp. 11–16.
4. *Пазовский В. М.* Аварийность на мировом флоте / В. М. Пазовский // *Безопасность судоходства в Дальневосточном бассейне: сб. докл. науч.-практ. конф. 24–25 октября 2007 г.* — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2007. — С. 108–113.
5. *Субанов Э. Э.* Адаптация метода анализа иерархий для принятия решений при оценке степени опасности столкновения морских судов / Э. Э. Субанов, А. В. Миронов // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*. — 2012. — № 3 (167). — С. 8–12.
6. *Tzannatos E.* Human element and accidents in Greek shipping / E. Tzannatos // *The Journal of Navigation*. — 2010. — Vol. 63. — Is. 1. — Pp. 119–127. DOI: 10.1017/S0373463309990312.
7. *Сазонов А. Е.* Человеческий фактор и безопасность управления подвижными объектами / А. Е. Сазонов // *Сб. материалов XVI Общего собрания академии навигации и управления движением*. — 2003. — С. 6–8.
8. *Ермаков С. В.* Превентивное регулирование человеческого фактора в морском судовождении / С. В. Ермаков // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2016. — № 5(39). — С. 39–50. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-39-50.
9. *Фадюшин С. Г.* Вероятностная оценка смысла / С. Г. Фадюшин // *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*. — 2018. — № 1. — С. 37–54. DOI: 10.11621/vsp.2018.01.37.
10. *Фадюшин С. Г.* Человеческий фактор судовождения в аспекте кибернетического подхода / С. Г. Фадюшин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 922–935. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-922-935.
11. *Fadyushin S. G.* Entropy As an Assessment Factor of the Current State of Vessel When Approaching an Object of Maneuver / S. G. Fadyushin, E. A. Vereshchagina, A. K. Rudnichenko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — IOP Publishing, 2019. — Vol. 272. — Is. 2. — Pp. 022120. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022120.
12. *Fadyushin S. G.* The Linear Assessment Model for Navigational Factors / S. G. Fadyushin // *World Applied Sciences Journal*. — 2014. — Vol. 29. — Is. 5. — Pp. 689–693. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.29.05.13904.
13. *Леонтьев Д. А.* Психология смысла: природа, строение и динамика смысловой реальности / Д. А. Леонтьев. — 3-е изд., доп. — М.: Смысл, 2007. — 512 с.
14. *Леонтьев А. А.* Предисловие / А. А. Леонтьев // *Материалы Всесоюзной научно-практической конференции «Психолого-педагогические проблемы обучения технике чтения, смысловому восприятию и пониманию текста» 12–15 мая 1988 г.* / Под ред. И. В. Усачевой. — М., 1989. — С. 3–10.
15. *Фреге Г.* Избранные работы / Г. Фреге. — М.: Дом интеллектуальной книги, 1997. — 160 с.

16. Фадюшин С. Г. «Радость — пламя неземное» или дискуссия о значении защитных механизмов в подростковом возрасте / С. Г. Фадюшин // Альманах современной науки и образования. — 2009. — № 10-2. — С. 115–118.
17. Фадюшин С. Г. Сближение судна с подвижным объектом методом пропорциональной навигации / С. Г. Фадюшин // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. — С. 121.
18. Фадюшин С. Г. Методы наведения судна на движущийся косяк рыбы / С. Г. Фадюшин // Вестник Морского государственного университета. — 2012. — № 25. — С. 90–95.
19. Канн В. Л. Теория пропорциональной навигации / В. Л. Канн, А. С. Кельзон. — Л.: Судостроение, 1965. — 423 с.

REFERENCES

1. Akten, Necmettin. "Analysis of Shipping Casualties in the Bosphorus." *Journal of Navigation* 57.3 (2004): 345–356. DOI: 10.1017/S0373463304002826.
2. Hetherington, Catherine, Rhona Flin, and Kathryn Mearns. "Safety in shipping: The human element." *Journal of safety research* 37.4 (2006): 401–411. DOI: 10.1016/j.jsr.2006.04.007.
3. Patraiko, D., P. Wake, and A. Weintrit. "e-Navigation and the Human Element." *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 4.1 (2010): 11–16.
4. Pazovskiy, V. M. "Avariynost' na mirovom flote." *Bezopasnost' sudokhodstva v Dal'nevostochnom bassejne: Sbornik dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 24-25 oktyabrya 2007. Vladivostok: Maritime State University Press, 2007: 108–113.
5. Subanov, E. E., and A. V. Mironov. "Hierarchy analysis adoption in taking decisions while evaluation of danger degree in sea vessels collision." *University news. North-Caucasian region. Technical sciences series* 3(167) (2012): 8–12.
6. Tzannatos, Ernestos. "Human Element and Accidents in Greek Shipping." *Journal of Navigation* 63.1 (2010): 119–127. DOI: 10.1017/S0373463309990312.
7. Sazonov, A. Ye. "Chelovecheskiy faktor i bezopasnost' upravleniya podvizhnymi ob'yektami." *Sbornik materialov XVI Obshchego sobraniya akademii navigatsii i upravleniya dvizheniyem*. 2003. 6–8.
8. Ermakov, Sergey Vladimirovich. "Preventive regulation of the human factor in marine navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 39–50. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-39-50.
9. Fadyushin, Sergey G. "Probabilistic evaluation of sense." *Moscow University Psychology Bulletin* 1 (2018): 37–54.
10. Fadyushin, Sergey G. "Human factor of navigation in the aspect of cybernetic approach." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.5 (2018): 922–935. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-922-935.
11. Fadyushin, S. G., E. A. Vereshchagina, and A. K. Rudnichenko. "Entropy As an Assessment Factor of the Current State of Vessel When Approaching an Object of Maneuver." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 272. No. 2. IOP Publishing, 2019. 022120. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022120.
12. Fadyushin, S. G. "The Linear Assessment Model for Navigational Factors." *World Applied Sciences Journal* 29.5 (2014): 689–693. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.29.05.13904.
13. Leontiev, D. A. *Psikhologiya smysla: priroda, stroenie i dinamika smyslovoy real'nosti*. 3rd ed. M.: Smysl, 2007.
14. Leont'yev, A. A. "Predisloviye." *Materialy Vsesoyuznoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Psikhologopedagogicheskiye problemy obucheniya tekhnike chteniya, smyslovomu vospriyatiyu i ponimaniyu teksta 12—15 maya 1988 g.* Edited by I.V. Usacheva. M., 1989. 3–10.
15. Frege, G. *Izbrannyye raboty*. M.: Dom intellektual'noy knigi, 1997.
16. Fadyushin, S. G. "«Radost' – plama nezemnoe» ili diskussiya o znachenii zashchitnykh mekhanizmov v podrostkovom vozraste." *Al'manakh sovremennoi nauki i obrazovaniya* 10-2 (2009): 115–118.
17. Fadyushin, S. G. "Proportional navigation and its use at control of vessel as an approach method to mobile object." *Modern problems of science and education* 4 (2012): 121.
18. Fadyushin, S. G. "Metody navedeniya sudna na dvizhushchiysya kosyak ryby." *Vestnik Morskogo gosudarstvennogo universiteta* 25 (2012): 90–95.
19. Kann, V. L., and A. S. Kel'zon. *Teoriya Proportsional'noy Navigatsii*. L.: Sudostroyeniye, 1965.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фадюшин Сергей Геннадьевич —
кандидат технических наук, доцент
Дальневосточный федеральный университет
690091, Российская Федерация, г. Владивосток,
Суханова, 8
e-mail: fadyushin.sg@dvfu.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fadyushin, Sergey G. —
PhD, associate professor
Far Eastern Federal University
8 Sukhanova Str., Vladivostok, 690090,
Russian Federation
e-mail: fadyushin.sg@dvfu.ru

*Статья поступила в редакцию 9 января 2020 г.
Received: January 9, 2020.*