

- проблемы оптоэлектроники: сборник статей: 75 лет кафедре "Лазерные и оптико-электронные системы" МГТУ им. Н.Э. Баумана.–2013.–С. 44-52.
2. Комплексная разработка электроники [Электронный ресурс]: Разработка СВЧ дальномера. URL: <http://www.progchip.ru/portfolio/lfm/>
 3. Разработка ультразвукового дальномера на микроконтроллере / А. Е. Чуфырев, В. А. Устюгов // Международный научно-исследовательский журнал. –2015. –№7 (38) Часть 1. – С. 133-135. URL: <https://research-journal.org/technical/razrabotka-ultrazvukovogo-dalnomera-na-mikrokontrollere/>
 4. Алгоритм и анализ погрешностей определения скорости автомобиля двухкамерной компьютерной видеосистемой с использованием стереозрения / А. С. Малистов, Д. О. Злобин // Актуальные проблемы современной науки. – 2015. – № 1. – С. 120-122.
 5. Ершов Е.И., Карнаухов В.Н., Мозеров М.Г. Алгоритмы стереозрения на основе параллакса движения монокулярной камеры бокового обзора // Информационные процессы – 2015.– том 15.– № 4.– С. 414-427.
 6. Патент РФ - Способ высокоточного определения навигационных элементов движения судна, № 2643072 от 14.06.2016.

REFERENCES

1. Issledovanie faktorov, vliyayushchih na pogreshnost' izmereniya rasstoyaniya fazovym

- lazernym dal'nomerom / Bernikov B. O., Bokshanskij V. B., Vyazovyh M. V., Perov A. N. // Sovremennyye problemy optotekhniki: Sbornik statej: 75 let kafedre "Lazernyye i optiko-elektronnyye sistemy" MGTU im. N.E. Baumana.– 2013.– S. 44–52.
2. Kompleksnaya razrabotka elektroniki [Elektronnyj resurs]: Razrabotka SVCH dal'nomera. URL: <http://www.progchip.ru/portfolio/lfm/>
3. Razrabotka ul'trazvukovogo dal'nomera na mikrokontrollere / A. E. CHufyrev, V. A. Ustyugov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. –2015. –№7 (38) CHast' 1. – S. 133–135. URL: <https://research-journal.org/technical/razrabotka-ultrazvukovogo-dalnomera-na-mikrokontrollere/>
4. Algoritm i analiz pogreshnostej opredeleniya skorosti avtomobilya dvuhkamernoj komp'yuternoj videosistemoj s ispol'zovaniem stereozreniya / A. S. Malistov, D. O. Zlobin // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki. – 2015. – № 1. – S. 120–122.
5. Ershov E.I., Kamauhov V.N., Mozerov M.G. Algoritmy stereozreniya na osnove parallaksa dvizheniya monokulyarnoj kamery bokovogo obzora. Informacionnyeprocessy, 2015, tom 15, № 4, S. 414–427.
6. Patent RF - Sposob vysokotochnogo opredeleniya navigacionnyh elementov dvizheniya sudna, № 2643072 ot 14.06.2016.

УДК 656.61.08:629.5.07

DOI: 10.34046/aumsuomt95/6

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ ОСНОВАННЫХ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Л. Джавукуян, аспирант

Д.Е. Студеникин, кандидат технических наук, доцент

В.В. Попов, доктор технических наук, профессор

В статье рассматриваются системы оценки безопасности судна. Существует большое количество методов оценки безопасности. Выбор определенной методики зависит от оцениваемой сферы деятельности. В работе дано краткое описание, преимущество и недостатки основных систем оценки безопасности. Подробно рассмотрены методы оценки безопасности, используемые в мореплавании, как наиболее известные вероятностные методы, так и современный способ, представленный байесовской сетью. Особое внимание уделяется способу оценки безопасности судна с помощью систем основанных на нечеткой логике в условиях недостаточной навигационной информации. Описаны основные параметры движения судна, учитываемые в векторе состояния при динамическом движении. Авторами сформулировано определение термина «Безопасность мореплавания», из которого следует, что безопасность мореплавания состоит из оценки вектора состояния судна, а также вектора управления.

В результате исследования доказано, что процесс управления судном зависит от вектора состояния. Матрица управления выстраивается в некоторую фигуру взаимосвязанную с фигурой погрешности места. Можно безопасно управлять судном, если оценивать точность местоположения, заключающуюся в оценке параметров вектора состояния. Показана работоспособность способа оценки точности местоположения судна, основанного на теории нечетких чисел.

Ключевые слова: безопасность мореплавания, вектор состояния, вектор управления, оценка точности местоположения, фигура принадлежности места судна, матрица управления

The article discusses the system of ship safety assessment. There are a large number of safety assessment methods. The choice of a particular methodology depends on the field of activity being evaluated. The paper gives a brief description, advantages and disadvantages of the basic safety assessment systems. The safety assessment methods used in navigation are considered in detail, both the most well-known probabilistic methods and the modern method presented by the Bayesian network. Special attention is paid to the method of assessing the safety of a ship using systems based on fuzzy logic in conditions of insufficient navigation information. The main parameters of the ship's movement that are taken into account in the state vector for dynamic movement are described. The authors have formulated a definition of the term "Safety of navigation", from which it follows that the safety of navigation consists of an assessment of the ship's condition vector, as well as the control vector.

As a result of the research, it is proved that the process of controlling a ship depends on the state vector. The control matrix is built into a certain shape that is interconnected with the shape of the position error. You can safely control the ship if you evaluate the accuracy of the location, which consists in evaluating the parameters of the state vector. The efficiency of the method of assessment of accuracy of the ship's position based on the theory of fuzzy numbers is shown.

Key Words: safety of navigation, the state vector, control vector, assessment of position accuracy, the figure of the accessories of the vessel, the matrix of control

Рассмотрение простых, фундаментальных положений понятия «безопасность» формирует у любого специалиста определенное безопасное поведение. Обеспечение безопасных условий любой деятельностью осуществляется при учете всех, без исключения, особенностей трудовых и производственных процессов, характерных для конкретной сферы деятельности. Отсюда возникает необходимость их изучения в зависимости от отрасли деятельности.

Для того чтобы понять безопасно ли работает любая система, ее необходимо оценить. При этом оценка безопасности строится на последовательности стадий выделения параметров в реально существующих системах, а далее математической формализации и формулирование на ней общей модели безопасности.

Существует различные методы определения безопасности любой системы. В совокупном варианте могут быть представлены как четыре группы (рис. 1):

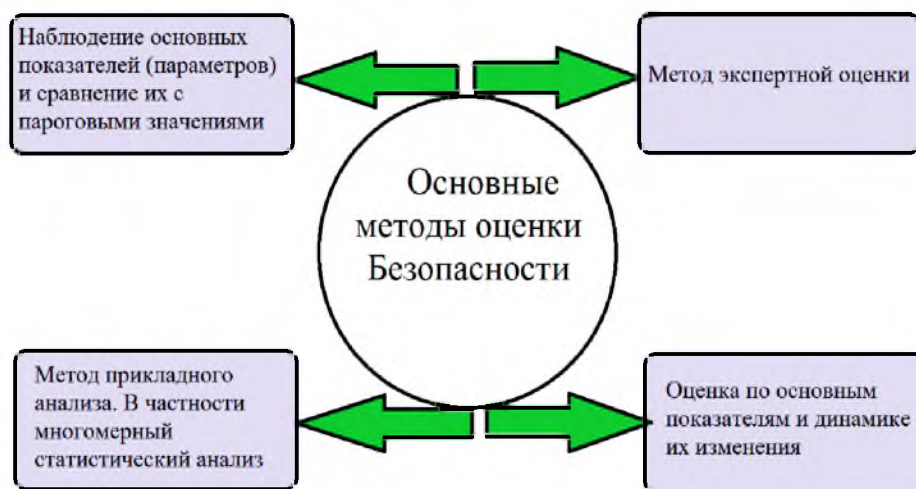


Рисунок 1 – Основные методы оценки безопасности

Помимо ключевых методов оценивания безопасности имеется огромное число иных методов, которые возможно систематизировать последующим образом (рис. 2):

Более подробно проанализируем каждый метод:

1. Методы многомерного анализа.

Сущность данного метода заключается в переходе от первоначальной идеи к более новым, прежде некоррелированным компонентам либо обстоятельствам, которые имеют меньшее количество, ограничивает целую или весьма вероятную долю изменчивости начальных данных. Данная задача комплексно имеет решение с использование

метода компонентного анализа, который относится к одному из методов факторного анализа данных.

2. Теоретико-игровые метод.

Теоретико-игровой метод основан на создании системы оценки «человек-машина». Система очень плодотворна. Она использует большой интеллектуальный потенциал в виде программной и информационной обеспечения поддержки принятия решений. Метод позволяет настраивать модель системы управления, вносить коррективы в базу данных после каждого сеанса игры. Предшественником теоретико-игрового метода были традиционные встречи на разных уровнях управления.

Отличные результаты получают при использовании теоретико-игровых методов, в особенности в тех рассматриваемых вариантах, где

все без исключения процессы могут быть пере-строены в игры.

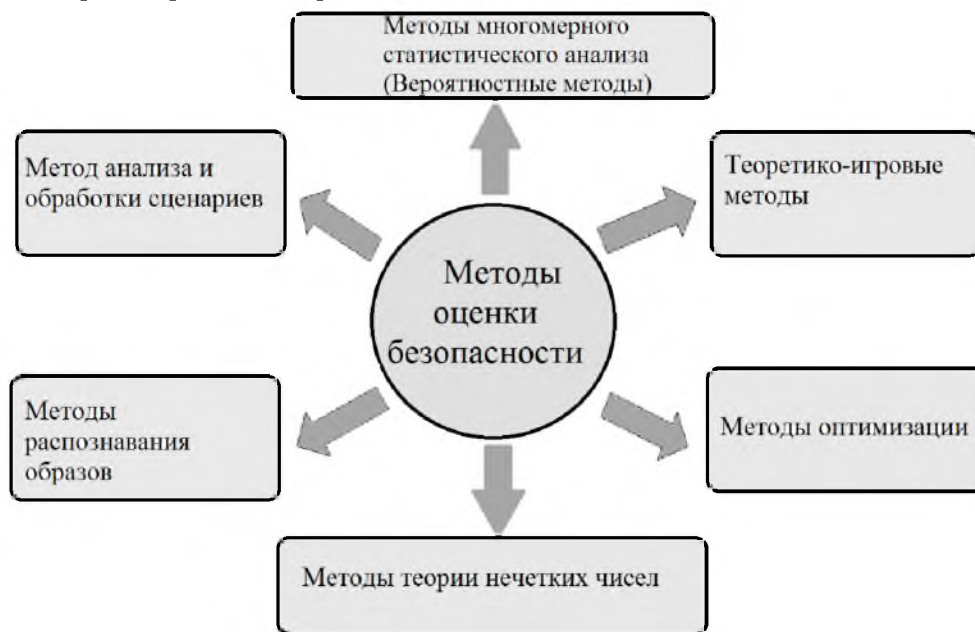


Рисунок 2 – Классификация методов оценивания безопасности

3. Методы оптимизации.

Нередко, данные способы применяются в аналитическом отображении исследуемых процессов с целью генерации каждого подобранного аспекта безопасности. Данный вариант существенно ограничивает область применения критериев, если описываемые процессы характеризуются показателями, которые не могут быть количественно отнесены в простой аналитической форме.

4. Методы, основанные на теории нечетких чисел и множеств.

Указанные методы представляют с собой современный аппарат для исследования и изучения комплексных, сложно формализуемых вопросов и задач. Понятие «нечеткое множество» было предложено выдающимся ученым ЛотфиЗаде в 1965 году. Методы дают возможность формализовать неверные, неидеальные, часто двойственные понятия и знания, которыми пользуются эксперты при рассуждениях, то есть, по сути, являются переводчиком компьютерной речи на понятный любому специалисту естественный язык.

5. Методы распознавания образов.

Методы для идентификации предметов, процессов, явлений, ситуаций, а также объектов характеризующихся конечным набором некоторых свойств и признаков. Конкретная основа идеи распознавания образов подразумевает собою набор различных способов: теории вероятности, математической статистики, случайной теории взаимосвязи и теории игр.

6. Метод анализа и обработки сценариев.

Сущность метода определяется в том, что происходит организация взаимодействия опытных кадров, работающих в разных сферах деятельности, в генерации и решении комплексных задач, при этом используя математическое моделирование.

Методы, рассмотренные в работе, имеют как преимущества, так и недостатки. Все зависит от условий и решаемой задачи. Однако, чтобы эффективно решить какую-либо задачу, лучше комбинировать методы, конкретно подключая отдельно взятый метод в зависимости от решаемого вопроса [1].

Как уже говорилось выше, в зависимости от вида деятельности используются конкретные методы оценивания безопасности. Допустим, метод экспертной оценки больше всего подходит для оценивания экономической безопасности. Дает возможность изложить численные и качественные параметры исследуемых процессов. Базируясь на умениях, знаниях, идеях экспертов, создаются закономерные принципы, правила для поддержки принятия решений. Они включают в себя дискретную оценку кризиса, деление и обособление территорий, областей, краев в зависимости от уровня угрозы для безопасности экономики. Сама безопасность базируется на анализе результатов реальных показателей, которые получают при помощи поочередных решений, приня-

тие новых сгенерированных правил, приобретаемых после обучения согласно имеющимся сетам показателей безопасности экономики страны [2].

Подробнее разберем способы, применяемые для оценки безопасности мореплавания. Задачей всего мирового сообщества является обеспечение безопасности. Определение решения обозначенной проблемы напрямую сопряжено с оценкой значений навигационного риска и принятием решения о применении ресурсов, ведущие борьбу с навигационными рисками. В навигации под этим предполагается избрание наилучших схем маневра с позиции контроля максимальной дистанции от подвижных и неподвижных угроз.

Под безопасностью навигации и судовождения имеется в виду качественная характеристика комплексной организационно-технической навигационной системы, включающей в себя множество подсистем, взаимосвязанных друг с другом.

Априорный и апостериорный методы являются основными двумя способами оценивания навигационной безопасности плавания.

Априорный способ заключается в применении математической модели движения судна, которая позволяет оценить вероятность исключения отказов в системе мореплавания. Здесь под системой мореплавания имеется в виду комплекс навигационного, гидрографического обеспечения и работы штурманской службы судна.

Апостериорный (статистический) метод основан на обработке статистических данных, которые характеризуют навигационные происшествия, произошедшие с судами за определенный период времени.

Чтобы полностью оценить степень навигационной безопасности мореплавания необходимо найти подходы, которые принимали бы во внимание основные свойства организационно-технической системы навигации, при этом учитывая разнообразие взаимосвязей меж отдельных элементов. Свойства навигационной системы по природе могут быть стохастическими либо определенными [3].

При детерминированном характере элементов навигационной системы, оценка уровня Оценка уровня безопасности навигации и судовождения выполняется методами теории систем в случаях, когда характер элементов системы детерминированный. При поддержке математических модели движения учитываются вся совокупность гидродинамических и механических сил, действующих на пароход. Данный подход неплохо показал себя при оценке безопасного прохода судна по узкостям, стесненным водам, каналам и около

портовых границ [4]. Следует заметить, что в детерминированном подходе случайные возмущающие факторы в каждом цикле моделирования рассматриваются как заранее определенные, а с последующим циклом изменяются. Кроме этого, сложно описать модель управления судна штурманом, включающую в себя этап оценки резонности принятия решения на маневр, исполнение и соответствующий контроль исполнения маневра с учетом возможных неопределенностей.

Детерминированный подход содержит особенность, состоящая в том, что случайные возмущающие причины во всяком цикле моделирования представляются уже предварительно определенными, а с последующими циклами модифицируются. Помимо представленного, сложно описать модель управления морским объектом, включающую в себя стадии оценки резонности принятия решения на исполнения маневра, мониторинг и реализацию команды, при этом учитывая возможные неопределенности.

Как видно способов и методов оценки безопасности в различных сферах жизнедеятельности человека, в частности в мореплавании множество. Для оценки безопасности необходимо иметь базу данных, а именно, параметры движения судна, силы, действующие на судно или морской плавучий объект. Рассмотрим более подробно параметры, используемые на флоте:

1. Курс морского плавучего объекта – двугранный угол между плоскостью истинного меридиана и диаметральной плоскостью судна, отсчитываемый в градусах от северной части меридиана по ходу часовой стрелки;
2. Скорость – одна из важнейших эксплуатационных характеристик судна, которая определяет быстроту его передвижения. Скорость на флоте измеряется в узлах (морская миля в час), кабельтовых в минуту. Существуют различные виды скорости судна [5]. Например, эксплуатационная, техническая, экономическая, путевая, критическая и т.д.
3. Дистанция до опасности – кратчайшее расстояние до объекта. На флоте единицей измерения являются морские мили и кабельтовы.
4. Пеленг – это двугранный угол между направлением на север (N истинный) и вертикальной плоскостью, проходящей через наблюдаемый объект и точку наблюдения.
5. Угловая скорость поворота судна – величина, характеризующая скорость изменения курса за единицу времени вокруг центра вращения.
6. Дрейф или снос судна (XTD) – смещение судна с линии пути под влиянием ветра, моря и течения.

7. Угол дрейфа – угол между линией генерального курса и курса, образующегося при дрейфе. Угол дрейфа при влиянии на судно ветра и течения образуют общий угол дрейфа.

8. Обороты в минуту (RPM) – единица измерения частоты вращения главного двигателя, а именно количество полных оборотов, совершенных ГД в единицу времени.

9. Осадки судна – вертикальное расстояние от действующей ватерлинии до киля судна, т.е. глубина погружения судна в воду.

10. и т.д.

Поскольку различные участки маршрута движения судна отличаются различными условиями в навигационном, географическом и гидрометеорологическом плане, то оценка безопасности плавания судна должна производиться отдельно на каждом участке.

Пожалуй, самыми известными методами оценки безопасности мореплавания, оценки точности местоположения являются вероятностные методы. Рассмотрим математическую модель априорной оценки безопасности плавания судна.

Вероятность навигационной безопасности на участке маршрута зависит от вероятности местоположения, что является важным, чтобы не допустить посадки судна на мель или предотвратить большой снос от генерального курса и от вероятности плавания, с тем, чтобы избежать столкновения с другими судами, особенно при навигации в проливах, узко-стях или в стесненных судоходных водах.

Первая из этих вероятностей зависит от точности и надежности навигационных приборов определения местоположения судна, а также от деятельности оператора-судоводителя, обозначимее символом P_H , а вероятность плавания, безопасного от столкновения с судами, которая зависит, в первую очередь, от качества управления судном и умения использовать все навигационные приборы обозначим символом P_Y .

Тогда можно в общем виде написать основу математической модели навигационной безопасности плавания судна:

$$P_{БП} = P_H * P_Y \quad (1)$$

где $P_{БП}$ – вероятность навигационной безопасности плавания судна;

Существует достаточно новые аналитические подходы, которые представляют поведение сложной системы, например, сетью Байеса. Байесовская модель считается направленным графом особого вида. Вершины графа – главные собственные события, отображающие проявление логических свойств непростой высококачественной системы судовождения и навигации: состояни-е системы навигационно - гидрографических

условий, способность судоводителя оценивать навигационную обстановку и принимать решения и т.д. Ребра модели графа состоят из логических связей между событиями, которые представлены в виде конъюнкций, дизъюнкций и инверсий. Декомпозиция событий, включенных в граф, должна осуществляться до глубины их статистической обособленности между собой. Использование генеральных правил алгебры логики (булевой) разрешает получить логическое выражения, в принципе, любого события байесовской модели системы навигации [6]:

$$y_i = i * (\&y_k) * (V\tilde{y}_d) \quad (2)$$

Здесь: i — число вершин графа; $\&y_k$ – конъюнктивная группа условий, где $k \in k_i$; V, \tilde{y}_d , – дизъюнктивная группа условий, где $d \in d_i$.

Переход от логического уравнения функционирования качественно сложной системы судовождения к функции вероятности обеспечивается использованием аксиом Колмогорова.

Оценка безопасности мореплавания может быть произведена с помощью способов, основанных на нечеткой логике.

Для выполнения задачи необходимо создать методику, которая может быть реализована в виде системы нечеткого вывода и позволит определять уровень безопасности на основе комплексной оценки.

Для достижения научного результата необходимо в первую очередь определить, что подразумевается под термином «Безопасность мореплавания». По мнению авторов статьи **«Безопасность мореплавания – это совокупность мероприятий, направленных на достижения безаварийной навигации, включающая в себя определение и оценку местоположения судна и контролируемый процесс управления».**

В общем случае безопасность мореплавания можно записать в следующем виде:

$$\mu_{нбп} = \mu_y * \mu_{омс} \quad (3)$$

где $\mu_{нбп}$ – навигационная безопасность плавания, $\mu_{омс}$ – степень принадлежности позиции судна относительно истинной, μ_y – степень безаварийного управления судном.

Необходимо сказать, что при определении местоположения судна, судоводитель получает обсервирование координаты с определенными допущениями, так как образуется фигура погрешностей. В зависимости от количества обрабатываемых навигационных параметров данная фигура принимает различную форму. Местоположение

судна может быть оценено по формуле (4), на основании полученных данных выстраивается указанная фигура погрешностей.

$$\mu_{\text{омс}}(x) = \sup\{\min(\mu_1(x), \mu_2(x) \dots \mu_n(x))\} \quad (4)$$

где $\mu_1(x) - \mu_n(x)$ – степень принадлежности навигационных параметров; n – индекс НП, показывающая порядковый номер.

Степень принадлежности навигационного параметра можно определить по формулам, предложенным в [7].

Управление движением судна – это сложный процесс, от которого напрямую зависит безопасность судна. Управляемый объект можно описать с помощью стохастических уравнений динамики [8]:

$$\dot{\bar{x}}(t) = A(t) \cdot \bar{x} + B(t) \cdot u, \quad \bar{x}(t_0) = x_0, \quad x_0 \in V \quad (5)$$

где $A(t)$, $B(t)$ – матрицы линейной нестационарной системы $n \times n$ и $n \times m$, $\bar{x}(t)$ – оценка вектора состояния судна, $x(t) \in R^n$ – вектор состояния судна, включая внешнее воздействие на судно ветра, моря и течения, $u(t) \in R^m$ – вектор управления, компоненты которого принадлежат классу кусочно-непрерывных функций и подчинены ограничениям:

$$|u_j| \leq M_j, \quad M_j > 0, \quad j = \overline{1, m} \quad (6)$$

где M – максимальное управляющее воздействие.

Эти ограничения имеют следующий физический смысл. Отклонение на заданном временном интервале координат, вызванного максимальным допустимым управлением $u(t)$, должно быть больше или равно суммарного отклонения в конечный момент координат, вызванного действием возмущения и свободного движения системы. Начальные условия порождают свободное движение, поэтому для неустойчивых систем отклонения координат могут быть значительными в конечный момент времени. Увеличивая максимальные значения управлений (предельные значения M_j , $j = \overline{1, m}$) увеличиваются возмущения, для которых возможен перевод системы, и область начальных условий, из которых система может быть переведена в начало координат, увеличивается.

Предполагается, что система (5) полностью управляема промежутке $(t_0 - t_k)$:

$$\int_{t_0}^{t_k} \Phi(t_k, \tau) B(\tau) B^T(\tau) \Phi^T(t_k, \tau) d\tau = \int_{t_0}^{t_k} M_j d\tau \quad (7)$$

И, соответственно, переводима в начало координат ограниченным управлением (6), то есть x_0 принадлежит области управляемости V . Здесь $\Phi(t_k, \tau)$ – фундаментальная матрица решений уравнения (5), T – знак транспонирования, τ – момент времени, t_0 и t_k – начальное и конечное время управления.

Предположим, что вектор начальных условий $x_i(t_0) = (0, \dots, 0, x_i(t_0), 0, \dots, 0)$ содержит только одну ненулевую компоненту $x_i(t_0)$. Рассмотрим алгоритм формирования управления из начального условия i -й координаты.

Введем переменные ограничения на компоненты вектора управления, зависящие от начальных условий:

$$|u_j| \leq \sum_{i=1}^n N_{ij} |x_i(t_0)|, \quad N_{ij} > 0, \quad j = \overline{1, m} \quad (8)$$

где N_{ij} – некоторые весовые коэффициенты. Для принятого начального условия ограничение (8) примет следующий вид:

$$|u_j| \leq N_{ij} |x_i(t_0)|, \quad j = \overline{1, m} \quad (9)$$

Чтобы найти оптимальное по быстродействию управления при ограничении (9) воспользуемся принципом максимума Понтрягина [9]. Получаем следующее уравнение:

$$H(\psi(t), x(t), u(t), t) = \psi^T A(t)x + \psi^T B(t)u \quad (10)$$

где $\psi(t)$ – сопряженная система, которая равна:

$$\dot{\psi} = -A^T(t)\psi \quad (11)$$

Для оптимальности управления $u(t)$ и траектории $x(t)$ необходимо существование такой вектор-функции $\psi(t)$, соответствующей функциям $x(t)$ и $u(t)$, что для любого $t \in [t_0, t_k]$ функция $H(\psi(t), x(t), u(t), t)$ переменного $u \in U$ достигает в точке $u = u(t)$ максимума:

$$H(\psi(t), x(t), u(t), t) = \sup_{u \in U} H(\psi(t), x(t), u, t) \quad (12)$$

Функция Понтрягина $H(\psi(t), x(t), u(t), t)$ максимальна, если составляющие вектора управления формируются по следующему алгоритму:

$$u_j^{(i)}(t) = N_{ij} |x_i(t_0)| \text{sign}[B_i(t)]^T \psi(t) \quad i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; \quad (13)$$

где $[B_i(t)]^T$ – транспонированный j -й вектор-столбец матрицы $B(t)$

Если подставить в уравнение (13) следующее выражение:

$$x_i = x_i(t_0) + \Delta x_i \quad (14)$$

где Δx_i – погрешность оценки вектора состояния.

Тогда, учитывая выражения (5) и (13) получается очевидная возможность нарушения условий (8), что приведет к отсутствию управляемости

Матрица управления выстраивается в некую фигуру взаимосвязанную с фигурой принадлежности местоположения судна, поэтому оценив вектор состояния судна, можно безопасно управляться. Таким образом, указанная фигура принадлежности места является важнейшим определителем качественного безаварийного управления.

Учитывая вышеизложенное, в первую очередь, для обеспечения безопасности судовождения необходимо производить непрерывную оценку вектора состояния судна. В работе [10] предложен способ оценки с помощью нечетких мер.

Обработка серии измерений навигационного параметра (НП) производится по методам, предложенным в [11]. Определяются степени принадлежности значений НП. Полученные дискретные значения сглаживаются с помощью интерполяции гауссианами второй степени, и выводится теоретическая формула, описывающая непрерывную функцию:

$$f(x) = a_1 e^{\left(-\frac{(x-b_1)^2}{c_1}\right)} \quad (14)$$

где a_1, c_1 – теоретически установленные коэффициенты, b_1 – среднее арифметическое значение навигационного параметра, x – числимое значение НП.

Далее вычисляются географические координаты точек пересечений по следующим формулам:

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i - \frac{\varphi_{max} - \varphi_{min}}{n} \quad (15)$$

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i + \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{n} \quad (16)$$

где φ_i – широта точки, λ_i – долгота точки, n – количество измерений НП, $\varphi_{max}, \varphi_{min}$ – наибольшее и наименьшее значение широт точек пересечения, $\lambda_{max}, \lambda_{min}$ – наибольшее и наименьшее значение долгот точек пересечения.

Зная координаты точек пересечения, можно легко определить числимое значение параметров, с помощью простой тригонометрической формулы:

$$ИП_{ci} = \arctg \left(\frac{\Delta w_i}{\Delta \varphi_i} \right) \quad (17)$$

где $ИП_{ci}$ – числимое значение НП, $\Delta \varphi_i$ – разность широт, Δw_i – отстояние.

После определяются степени принадлежности всех вычисленных НП. Используется формула (4) с заданием следующего условия:

$$ИП_{min} < ИП_{ci} < ИП_{max} \quad (18)$$

где $ИП_{min}, ИП_{max}$ – крайние значения НП, полученные при серии измерений.

Если условие (18) не выполняется, то степень принадлежности оцениваемого параметра автоматически равна 0, что говорит о минимальной принадлежности навигационного параметра к истинному значению.

Пространство навигационной карты, на которой находится судно, можно представить в виде ячеек (кластеров) со строго определённым центром. Способ определения обсервованных координат судна заключается в том, что каждому кластеру назначается степень принадлежности к нему судна, то есть происходит оценка вектора состояния в каждой точке, при этом «1» – показывает максимально близкое состояние судна к истинному положению, а «0» соответственно минимальное. Степень принадлежности ячеек определяется с помощью умножения степеней принадлежности навигационных параметров, проходящих через кластер, друг на друга.

$$\mu_{ab}(x) = \mu_a(x) \mu_b(x) \quad (19)$$

Таким образом, формируется поверхность, в которой судно находится.

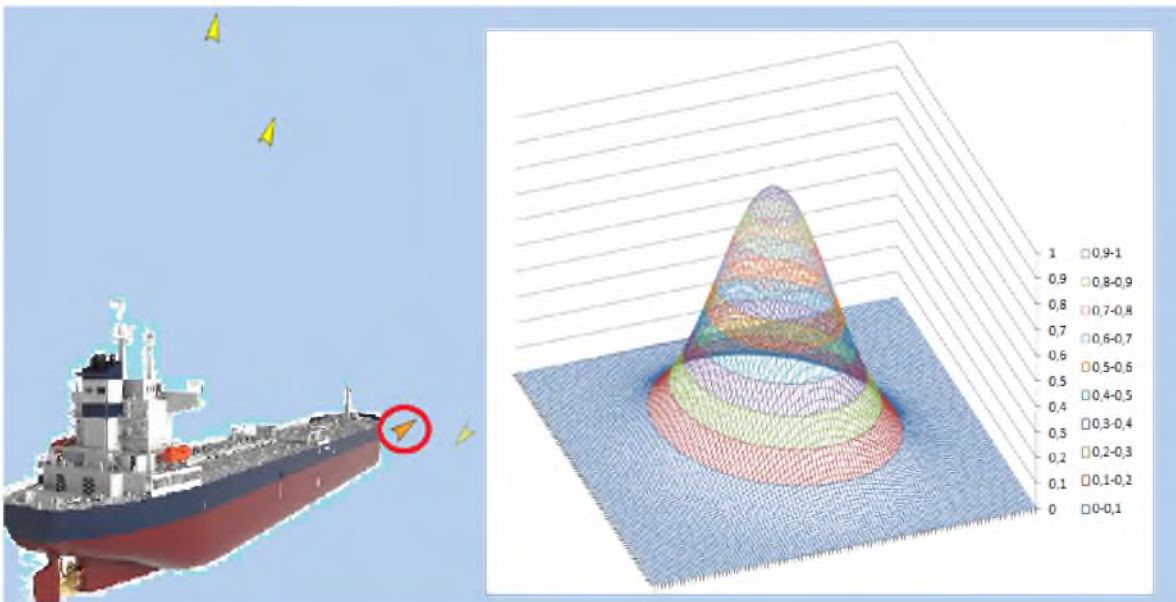


Рисунок 3 – Фигура принадлежности местоположения судна

Способ оценки вектора состояния судна с помощью систем основанных на нечеткой логике является хорошим инструментом в условиях недостаточной навигационной информации. Во-

первых, системы нечеткой логики являются гибкими и позволяют изменять правила. Во-вторых, комплекс операторов в нечеткой логике богаче, чем в классической теории. Например, в нашем

случаи для определения степеней принадлежности в одном кластере применили оператор объединения нечетких множеств s-норму (19), однако, аппарат нечеткого множества позволяет применить и t-норму, что невозможно в классической теории. Именно такая возможность выбора операторов, на наш взгляд, является лучшим средством при оценке безопасности. Система принимает даже неточную и ошибочную информацию, а главное она связана с человеческими рассуждениями и принятием решений, что полезно при нахождении решений в сложных ситуациях. **Под недостаточной навигационной информацией, авторы подразумевают информацию, поступающую судоводителю в неполной мере или неточно, искаженно и ошибочно, что не позволяет полноценно решить поставленные задачи с помощью методов классической логики.**

Рассмотренная система позволяет оценивать одновременно несколько параметров вектора состояния судна, а также визуализировать опасные и безопасные параметры. Полученные данные можно применить в системе поддержки принятия решений, что в последствии станет важнейшим аспектом выбора траектории движения судна, то есть безопасного управления судном.

В работе подробно рассмотрены различные методы оценки безопасности. Детально изучены основные параметры вектора состояния судна. Предложено понятие «Безопасность мореплавания». Показана тесная взаимосвязь определения местоположения судна и оценка точности с управлением движения судна и принятием безопасного решения. Продемонстрирована работоспособность способа оценки точности ОМС основанного на теории нечетких чисел.

Литература

1. Бостанджян В.Д. Основы экономической безопасности. – М.: Альфа, 2016. – С. 287.
2. Моисеев Н.В. Критерии экономической безопасности // Вопросы экономики. – 2015. – № 12. – С. 35-58.
3. Некрасов С. Н., Прохоренков А. А. Ситуационный метод оценки навигационной безопасности плавания // Сборник докладов 57-й Международной молодежной научно-технической конференции «МОЛОДЕЖЬ — НАУКА — ИННОВАЦИИ», посвященной 200-летию транспортного образования в России, 25-26 ноября 2009 г.: в 2 т. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2009. – Т. 1. – 261 с.
4. Зайков В. И. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование ограничений по гидрометеороусловиям и разработка мероприятий по обеспечению безопасности плавания в районе судопропускных сооружений С-1 и С-2 защиты Санкт-

- Петербурга от наводнений». – СПб.: СПГУВК, 2005. – 89 с.
5. Скорость судна: Военно-морской словарь / В. Н. Чернавин. – М.: Воениздат, 1990. – 396-511 с.
 6. Некрасов С. Н. Комбинированный метод оценки навигационной безопасности при плавании по внутренним водным путям / С. Н. Некрасов, А. А. Прохоренков // Журнал Университета водных коммуникаций. – 2011. – № 1. – С. 106-108.
 7. Джавукцян М.Л. Использование нечетких чисел для оценки точности ОМС / М.Л. Джавукцян, Д.Е. Студеникин // Эксплуатация морского транспорта. – 2016 – № 2(79). – С. 41-45.
 8. Арефьев И.Б., Моделирование состояния и поведения судна на базе фильтра Калмана / И.Б. Арефьев, Я. Трояновский // Программные продукты и системы. – 2009 – №1. – С. 39-41.
 9. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1976. – 384 с.
 10. Кондратьев С.И., Студеникин Д.Е., Джавукцян М.Л., Глиumboцкий В.В. Способ и система контроля местоположения судна с помощью нечеткой логики // Патент России № 2678761, 31.01.2019 Бюл. №4
 11. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
 12. Студеникин Д.Е. Анализ предполагаемой траектории движения крупнотоннажного судна с учетом его маневренных возможностей [Текст] / Д.Е. Студеникин, С.И. Кондратьев // Естественные и технические науки. – 2013. – № 5 (67). – С. 335-340.

References

1. Bostandzhyan, V.D. Osnovy ekonomicheskoy bezopasnosti. – M.: Al'fa, 2016. – S. 287.
2. Moiseev, N.V. Kriterii ekonomicheskoy bezopasnosti // Voprosy ekonomiki. – 2015. – № 12. – S. 35-58.
3. Nekrasov S.N., Prokhorenkov A.A. Situatsionnyy metod otsenki navigatsionnoy bezopasnosti plavaniya // Sbornik dokladov 57-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «MOLODEZH" — NAUKA — INNOVATsII», posvyashchennoy 200-letiyu transportnogo obrazovaniya v Rossii, 25-26 noyabrya 2009 g.: v 2 t. — Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2009. — T. 1. — 261 s.
4. Zaykov V.I. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Issledovanie ogranicheniy po gidrometeorousloviyam i razrabotka meropriyatiy po obespecheniyu bezopasnosti plavaniya v rayone sudopropusknykh sooruzheniy S-1 i S-2 zashchity Sankt-Peterburga ot navodneniy». — SPb.: SPGUVK, 2005. — 89 s.
5. Skorost' sudna // Voенno-morskoy slovar' / Chernavin V. N. – M.: Voениzdat, 1990. – S. 396. – 511 s.
6. Nekrasov S. N. Kombinirovannyy metod otsenki navigatsionnoy bezopasnosti pri plavanii po vnutrennim

- vodnym putyam / S. N. Nekrasov, A. A. Prokhorenkov // Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsiy. – 2011. – № 1. – С. 106–108.
7. Dzhavuktsyan, M.L. Ispol'zovanie nechetkikh chisel dlya otsenki tochnosti OMS / M. L. Dzhavuktsyan, D. E. Studenikin // Ekspluatatsiya morskogo transporta . – 2016 – № 2(79). – С. 41-45.
8. Aref'ev I.B., Modelirovanie sostoyaniya i povedeniya sudna na baze fil'tra Kalmana / I.B. Aref'ev, Ya. Troyanovskiy // Programmnye produkty i sistemy. – 2009 – №1. – С. 39-41.
9. Pontrjagin L.S., Boltjanskij V.G., Gamkrelidze R.V., Mishhenko E.F. Matematicheskaja teorija optimal'nyh processov. – M.: Nauka, 1976 – 384 s.
10. Kondrat'ev S.I., Studenikin D.E., Dzhavuktsyan M.L., Glimbotskiy V.V. Sposob i Sistema kontrolya mestopolozheniya sudna s pomoshch'yu nechetkoy logiki // Patent Rossii № 2678761, 31.01.2019 Byul. №4
11. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkikh system sredstvami MATLAB. – M.: Goryachyaliniya – Telekom, 2007. – 288 s.
12. Studenikin D.E. Analiz predpolagaemoj traektorii dvizheniya krupnotonnazhnogo sudna s uchytom ego manevrennykh vozmozhnostej [Tekst] / D.E. Studenikin, S.I. Kondrat'ev // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2013. № 5 (67). S. 335-340.

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt95/7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЦЕПТРОНА В РАЗРАБОТКЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РУЛЕМ СУДНА

В.Е. Обдымко, ассистент

В данной статье рассматривается разработка нейронной сети многослойного перцептрона в качестве регулятора автоматической системы управления рулем судна. Также рассматривается основание применения метода обратного распространения ошибки для обучения сети.

Ключевые слова: нейронная сеть, нейрон, многослойный перцептрон, метод обратного распространения ошибки, пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор.

Developing of the multilayer perceptron neural network in capacity of ship's autopilot controller was considered at this article. Also practical using of back-propagation algorithm at network training was considered.

Keywords: neural network, neuron, multilayer perceptron, back-propagation algorithm, proportional-integral-derivative controller.

С появлением пропорционально-интегрально-дифференцирующих (ПИД) регуляторов, эффективность работы судовых авторулевых резко возросла. Главным недостатком таковых регуляторов является необходимость корректировки их работы вручную с целью скомпенсировать влияние внешних факторов. Более того, процесс регулировки вручную является весьма трудоемким и длительным. Также ПИД регуляторы работают нестабильно при выполнении судном крупных маневров (в большинстве случаев, не связанных с прямолинейным движением судна).

Искусственные нейронные сети обладают некоторыми полезными преимуществами в области применения их к управлению рулем судна. К ним можно отнести способность нейро-сетевых регуляторов к обучению на сотнях образцах, сотнях вариаций соотношения статических и динамических характеристик судна с внешней средой, другими словами - теми или иными условиями плавания. В своей работе такой регулятор поможет решить несколько важных задач судовождения – способствовать снижению расхода топлива,

удерживать судно на курсе с более высокой точностью, то есть с меньшим отклонением от заданного пути, что особенно важно при следовании в плохую погоду, в стесненных водах и вблизи различных навигационных опасностей.

Нейронная сеть с прямой связью, возможно, является одним из наиболее популярных видов искусственных нейронных сетей, вследствие чего широко применима в различных технических системах управления и контроля. Ее архитектура столь известна благодаря двум причинам – нейронная сеть весьма проста в использовании, а также способна к «обучению с учителем» (supervised learning).

Нейронная сеть с прямой связью состоит из нескольких слоев, каждый из которых вмещает в себя определенное количество искусственных нейронов. В большинстве случаев все нейроны в слое имеют одинаковую функцию активации (пороговое значение). Архитектура данной нейронной сети подразделяется на три слоя – входной, скрытый и слой выхода. Сигнал, следующий по