

УДК 656.61.052

**ALGORITHMS AND CALCULATED SCHEMES TO EVALUATE
PREHISTORY OF A VESSEL EMERGENCY CASE****АЛГОРИТМЫ И РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ОЦЕНКИ ПРЕДИСТО-
РИИ АВАРИЙНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ С СУДНОМ****V.V. Mamontov**, *assistant, captain***В.В. Мамонтов**, *ассистент, кдп**Odessa National Maritime Academy, Ukraine*
*Одесская Национальная Морская Академия, Украина***ABSTRACT**

The development of calculated schemes, algorithms and devices were performed in this work. It contains the first time offered ways and methods of forming the prescribed algorithm of ship's handling system. It allows to control the process of movement and approaching including the evaluation of the most danger close quarter situation. It gives possibility to atomize the process of planning the ship's track as well as serves theoretical base for the decision support system.

The results can be used for navigational devices and in learning process at maritime education.

Keywords: calculation scheme, methods of forming, prescribed algorithm, danger close quarter situation, decision support system.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Для обеспечения организации работы команды мостика при возникновении предпосылок аварийного происшествия решающее значение имеет техническое состояние судна и квалификация персонала, а также степень подготовки штурманского состава к взаимодействию при организации управления движением в стесненных условиях и при аварийных ситуациях. В стесненных условиях увеличивается число и состав элементарных операций и судоводитель действует на уровне устойчивого навыка, а в экстремальных условиях необходимо использование вычислений и мыслительных операций для принятия решения, что приводит к замедлению процесса управления.

Скоротечность процесса управления и недостаток времени для получения корректной информации о процессе движения требует предварительной подготовки к действию команды мостика в экстремальных условиях при опасном сближении с навигационной опасностью, другим судном и при отказе средств движения и маневрирования.

По этой причине разработка содержательных моделей процесса определения опасности для управления и алгоритма работы команды мостика при воз-

никновении предпосылок для возникновения аварийного происшествия является весьма актуальной.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работе [1] рассмотрены вопросы обеспечения навигационной безопасности при управлении движением судов, включая при лоцманской проводке. Впервые рассмотрена методика планирования траектории инверсным способом при постановке на якорь и швартовных операциях. Приведены способы планирования криволинейных траекторий по данным о характеристиках поворотливости. Вопросы организации работы команды мостика при аварийных ситуациях в работе не рассматриваются.

В работе [2] отмечается, что формирование начального и устойчивого навыка по управлению маневрированием судна обычно производится методом проб и ошибок. Однако более предпочтительным является метод формирования навыка через знание алгоритма интеллектуальных действий судоводителя.

Даже сформированный устойчивый навык в выполнении элементов судоводительской работы со временем снижается, если он не используется регулярно. По этой причине его необходимо восстанавливать. Одной из возможных форм поддержания навыков на требуемом уровне является периодическое повторное обучение и тренажерная подготовка. Методика формирования навыка по работе команды мостика для определения вероятности возникновения аварийного происшествия не рассматривается.

В работе [3] приведены комплексные психофизиологические исследования среди курсантов старших курсов судоводительской специальности и судоводителей при переподготовке на радиолокационном тренажере. Цель исследования - изучение информативности отдельных показателей и определение возможности их использования для оценки уровня формирования производственного динамического стереотипа в овладении навыком управления процессом маневрирования. Они включали: анализ сенсомоторных реакций, выполнение тестов на внимание, оперативную память, мышление, силу и подвижность нервных процессов. Это позволило определить возможности использования управления сенсомоторными показателями для формирования навыков управления командой мостика.

В работе [4] рассмотрены системы обеспечения движения и управления, а также построение автоматических систем управления курсом, скоростью и его положением. Рассмотрены основные задачи электронных систем и методы информационной поддержки, принимаемых решений по управлению движением. Однако вопросы организации оценки опасного сближения с опасностью или другими судами и соответствующие системы поддержки принятия решений по предупреждению аварийного происшествия не рассмотрены.

Формулирование целей статьи

Целью настоящей статьи является разработка алгоритмов и расчетных схем определения опасного сближения с другим судном или навигационным препятствием и выбора вида маневра для предупреждения аварийного происшествия.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Для более надежной работы команды мостика необходимо уменьшить количество информации, которая должна быть принята к обработке [5]. В связи с обязательным внедрением на судах автоматизированных информационных систем (АИС) появилась возможность улучшить организацию обработки данных о параметрах сближения с навигационными опасностями.

Первоначально для систематизации ситуаций сближения и видов маневрирования рассмотрим все возможные случаи расхождения и изменения режима движения, полагая, что никаких ограничений на действия судоводителей нет.

Решение задачи расхождения представляет собой комбинаторную процедуру рассмотрения относительного перемещения всех сочетаний из двух судов и применяемых маневров. Для определения числа сочетаний необходимо вычислять факториалы элементов $r!$ и $K!$ и их комбинацию по известным формулам

$$r! = \prod_{r=1}^n r \quad \text{и} \quad K! = \prod_{k=1}^m K \quad (1)$$

$$C_r^K = \frac{K!}{r!(K-r)!} \quad (2)$$

Для вычислений факториалов будем использовать приближенную формулу Стирлинга

$$r! \approx r^r \cdot e^{-r} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3)$$

При 20-ти судах, наблюдаемых на экране РЛС, число сочетаний по два судна, вычисленное по формуле (2), будет равно 190 [6]. Количество возможных маневров собственного и другого судна, включающие все виды маневрирования, равно 16 и приведено в табл. 1.

Характеристика возможных ситуаций расхождения, с учетом взаимного расположения собственного и других судов, представлена в табл.2.

Всего возможных ситуаций взаимного расположения судов, которые учитывают расположение другого судна справа/слева, курсового угла ЛОД - $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha > 90^\circ$, а также прохождение ЛОД относительно собственного судна – пересекает курс по носу, проходит через нас или пересекает курс по корме может быть восемнадцать.

Таблица 1 Характеристика видов маневров для расхождения

Судно	№ № пп	Условное обозначение	Характеристика вида маневра
Собственное судно	1	$V_{\text{нп}}$	Отворот вправо собственного судна
	2	$V_{\text{нл}}$	Отворот влево собственного судна
	3	$V_{\text{нум}}$	Уменьшение скорости собственного судна
	4	$V_{\text{нув}}$	Увеличение скорости собственного судна
	5	$V_{\text{нпум}}$	Отворот вправо и уменьшение скорости собственного судна
	6	$V_{\text{нпув}}$	Отворот вправо и увеличение скорости собственного судна
	7	$V_{\text{нлум}}$	Отворот влево и уменьшение скорости собственного судна
	8	$V_{\text{нлув}}$	Отворот влево и увеличение скорости собственного судна
Другое судно	9	$V_{\text{цп}}$	Отворот вправо другого судна
	10	$V_{\text{цл}}$	Отворот влево другого судна
	11	$V_{\text{цум}}$	Уменьшение скорости другого судна
	12	$V_{\text{цув}}$	Увеличение скорости другого судна
	13	$V_{\text{цпум}}$	Отворот вправо и уменьшение скорости другого судна
	14	$V_{\text{цпув}}$	Отворот вправо и увеличение скорости другого судна
	15	$V_{\text{цлум}}$	Отворот влево и уменьшение скорости другого судна
	16	$V_{\text{цлув}}$	Отворот влево и увеличение скорости другого судна

При расхождении двух судов существует 288 ситуаций расхождения и видов маневрирования. При 20 судах число сочетаний двух судов составляет 190, а общее число ситуаций и маневров составляет 54720. Столь большое количество информации судоводитель не может обработать, и ему нужна помощь.

Для этого необходимо произвести автоматизацию процессов обработки данных и выдачи рекомендаций.

Первым шагом необходимо создание ситуационного анализатора, который по данным АИС рассчитывает расстояние до всех судов в виде матрицы, и отбрасывает с дальнейшей обработки те, расстояние до которых увеличивается.

Как показывает выполненный нами анализ, в большинстве случаев число таких судов достигает 50%.

Вторым шагом является анализ характера изменения относительного движения по трем факторам:

- расположения других судов относительно диаметральной плоскости (ДП) собственного – справа или слева;
- величиной угла между линией относительного движения (ЛОД) и ДП своего судна, курсового угла ЛОД - $\alpha < 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$, $\alpha > 90^\circ$;
- относительным курсом P между линией ДП собственного и другого судна, $P < 90^\circ$, $P = 90^\circ$, $P > 90^\circ$, – пересекает курс по носу, проходит через нас или пересекает линию курса по корме.

Таблица 2 Классификация ситуаций расхождения

Суда	КУ ЛОД	№№ пп	Характеристика прохождения ЛОД
Справа	$\alpha < 90^\circ$	1	ЛОД пересекает линию курса по носу
	$\alpha < 90^\circ$	2	ЛОД проходит через нас
	$\alpha < 90^\circ$	3	ЛОД пересекает линию курса по корме
	$\alpha = 90^\circ$	4	ЛОД пересекает линию курса по носу
Справа	$\alpha = 90^\circ$	5	ЛОД проходит через нас
	$\alpha = 90^\circ$	6	ЛОД пересекает линию курса по корме
	$\alpha > 90^\circ$	7	ЛОД пересекает линию курса по носу
	$\alpha > 90^\circ$	8	ЛОД проходит через нас
	$\alpha > 90^\circ$	9	ЛОД пересекает линию курса по корме
Слева	$\alpha < 90^\circ$	10	ЛОД пересекает линию курса по носу
	$\alpha < 90^\circ$	11	ЛОД проходит через нас
	$\alpha < 90^\circ$	12	ЛОД пересекает линию курса по корме
	$\alpha = 90^\circ$	13	ЛОД пересекает линию курса по носу
	$\alpha = 90^\circ$	14	ЛОД проходит через нас
	$\alpha = 90^\circ$	15	ЛОД пересекает линию курса по корме
	$\alpha > 90^\circ$	16	ЛОД пересекает линию курса по носу
	$\alpha > 90^\circ$	17	ЛОД проходит через нас
	$\alpha > 90^\circ$	18	ЛОД пересекает линию курса по корме

На основании анализа существующих зависимостей [1, 6-8] был разработан анализатор ситуации сближения, анализаторы выбора вида маневра и расчетные схемы определения времени и расстояния до других судов, в момент начала маневрирования собственного.

Структурный алгоритм ситуационного анализатора приведен на рис. 1.

Он состоит из блока расчета расстояния до всех судов, который постоянно по данным АИС, определяет дистанцию и формирует матрицу дистанций.

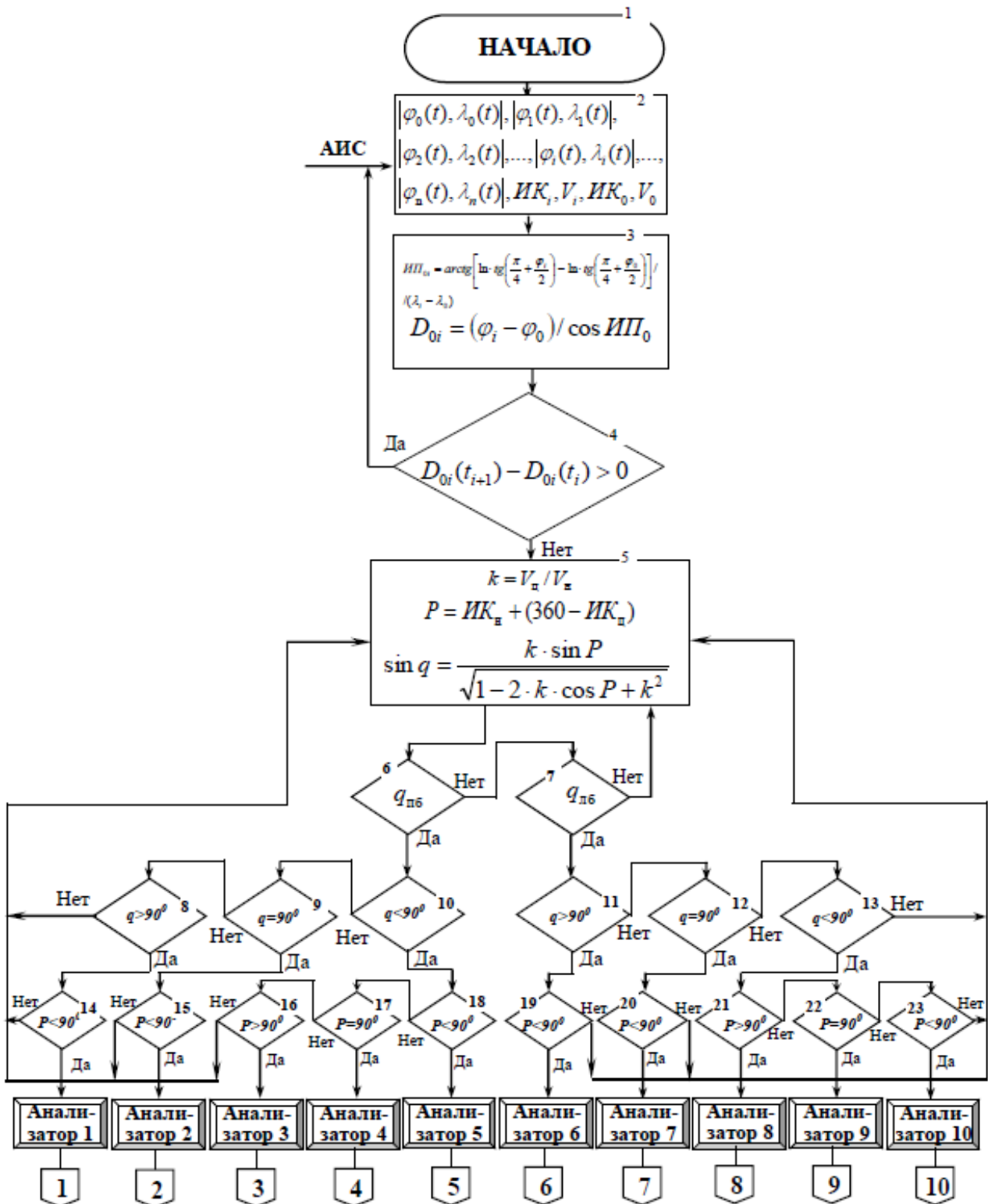


Рис.1. Структурный алгоритм ситуационного анализа

Обозначим количество наблюдаемых судов через n . Параметры, измеренные от собственного судна на другие, будем обозначать индексом ноль и цифрой, обозначающей другое судно в пределах $i \in [1, n]$, а между наблюдаемыми судами индексом с двумя цифрами, первая с которого измеряется пеленг и дистанция, а вторая на которое. Однако для нашего случая производить оценку

ситуации между наблюдаемыми судами мы не будем, ограничиваясь собственным и другими. По приведенному алгоритму можно анализировать и оценивать ситуацию сближения между судами в береговых системах.

Обозначим расстояние между собственным и наблюдаемыми судами $D_{01}(t), D_{02}(t), \dots, D_{0i}(t), \dots, D_{0n}(t)$, а между другими и собственным через $D_{10}(t), D_{20}(t), \dots, D_{i0}(t), \dots, D_{n0}(t)$. Тогда функцию расстояний между наблюдаемыми судами во времени можно записать как множество:

$$D(t) = \begin{vmatrix} 0 & D_{01}(t) & D_{02}(t) & D_{03}(t) & \dots & D_{0n}(t) \\ D_{10}(t) & 0 & D_{12}(t) & D_{13}(t) & \dots & D_{1n}(t) \\ D_{20}(t) & D_{21}(t) & 0 & D_{23}(t) & \dots & D_{2n}(t) \\ D_{30}(t) & D_{31}(t) & D_{32}(t) & 0 & \dots & D_{3n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots \\ D_{n0}(t) & D_{n1}(t) & D_{n2}(t) & D_{n3}(t) & \dots & 0 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Устройство сравнения производит вычитание последующей и предыдущей дистанции через интервал времени $1 \div 3$ с. Если $D(t_{i+1}) - D(t_i) > 0$ то такое судно снимается с дальнейшей обработки, сохраняя анализ дистанции в дальнейшем.

Расчет пеленга на другое судно и дистанции до него произведем по известным формулам навигации с учетом того, что расстояния до судов незначительные, то расстояние и пеленг будем производить по уравнению локсодромии.

Если поверхность Земли принимать за поверхность шара (когда эксцентриситет земного сфероида $e = 0$), уравнение локсодромии будет иметь следующий вид

$$\lambda_i - \lambda_0 = tgIPP_{0i} \cdot \left[\ln \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_i}{2} \right) - \ln \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] \quad (5)$$

где φ_0, λ_0 , и φ_i, λ_i координаты собственного и наблюдаемого i -го судна ; IPP_{0i} - пеленг с собственного судна на другое наблюдаемое.

Тогда пеленг и расстояниеможно рассчитать по формулам:

$$IPP_{0i} = arctg \left[\ln \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_i}{2} \right) - \ln \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] / (\lambda_i - \lambda_0) \quad (6)$$

$$D_{0i} = (\varphi_i - \varphi_0) / \cos IPP_0 \quad (7)$$

После того как из всех судов, отображены приближающиеся, необходимо определить опасные. Для этого используем интегральный показатель [9] оценки опасности столкновения – курсовой угол ЛОД.

Процесс приближения и расхождения скоротечен. По этой причине времени на анализ ситуации, выполнение расчетов и принятие решения практически нет. В такой ситуации необходимо предварительно рассчитать маневрирование и выдать оператору рекомендации в такой форме, которая позволила бы понять ситу-

ацию и успеть отдать команды на средства управления для предупреждения чрезмерного сближения.

В процессе сближения судов наступает время, когда задачу расхождения решать практически невозможно. Такое положение возникает тогда, когда цель обнаружена визуально или при помощи РЛС внезапно на близком расстоянии, из-за выполнения непредвиденного маневра, вследствие низкой отражательной способности или отсутствия должного наблюдения.

Производить какие-либо расчеты в такой ситуации не представляется возможным, а промедление с маневром чревато тяжелыми последствиями. Такой маневр, экстренное выполнение которого необходимо для предотвращения столкновения в теории и практике управления судном получил название "маневр последнего момента". Отличительной его особенностью является необходимость применения сильных, максимально возможных управляющих воздействий. Кроме того, в соответствии с Правилем 2 МППСС-72, отпадает необходимость соблюдать какие-либо правила, которые действуют в обычных условиях, кроме одного: выбрать такой маневр, который позволил бы избежать столкновения, а если это невозможно, то свести к минимуму повреждения.

Многообразие ситуаций и большое количество альтернатив на первый взгляд не дают возможности решить задачу однозначно. Между тем тщательный анализ ситуации сближения и учет всех факторов позволяют, как предложить алгоритм решения задачи, так и получить аналитические выражения для выбора единственно возможного маневра. Для решения задачи в работе [7] введено две аксиомы, которые очевидны и не требуют доказательств.

Аксиома 1. Если существует вероятность столкновения, то эти цели опасны и выполняется условие $(d\Pi/dt)=0$, $(dD/dt)<0$.

Аксиома 2. Оптимальным курсом отворота для предупреждения столкновения является параллельный или контркурс опасного судна. Если наше судно отвернет на такой курс, то сразу уменьшается зависимость опасного сближения от вероятного маневра встречного судна.

Увеличение или уменьшение скорости и отворот его от нашего судна улучшают ситуацию сближения, а отворот в нашу сторону маловероятен, но его можно предусмотреть и учесть введением навигационного запаса.

Для получения аналитических зависимостей и учета маневренных характеристик судна при выполнении маневра расхождения в момент сближения, необходимо определить на каком расстоянии необходимо начинать изменять параметры движения и когда наступает время последнего момента, при котором еще можно предупредить столкновение.

Зависимости для оценки расстояния [7] в момент начала маневрирования будут иметь вид:

$$D_{\text{пмг}} = H_{\text{т}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (8)$$

$$D_{\text{пми}} = H_{\text{п}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (9)$$

$$D_{\text{пмпл}} = H_{\text{л}} M \sqrt{1 - 2 \cdot k \cdot \cos P + k^2}, \quad (10)$$

где $H_{\text{л}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно от момента подачи команды на задний ход до полной остановки;

$H_{\text{п}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно, от момента подачи команды «право на борт» до момента расхождения;

$H_{\text{л}}M$ – расстояние, которое пройдет собственное судно от момента подачи команды «лево на борт» до момента расхождения.

С учетом зависимостей (8)-(10) момент времени, когда необходимо выполнять маневр последнего момента торможением, определится формулой:

$$T_{\text{пмпт}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмпт}}) / V_0 \cdot R. \quad (11)$$

где $D_{\text{н}}$ - расстояние до другого судна, в момент начала расчетов.

Время наступления маневра последнего момента отворотом влево

$$T_{\text{пмпл}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмпл}}) / V_0 \cdot R. \quad (12)$$

Время наступления маневра последнего момента отворотом вправо

$$T_{\text{пмпп}} = (D_{\text{н}} - D_{\text{пмпп}}) / V_0 \cdot R. \quad (13)$$

Приведенные зависимости (8)-(13) позволяют выработать необходимые рекомендации по выполнению маневра последнего момента, а также автоматизировать процесс выбора его вида, изображенный на рис.2, для анализатора 1, блок-схема которого была рассмотрена на рис. 1.

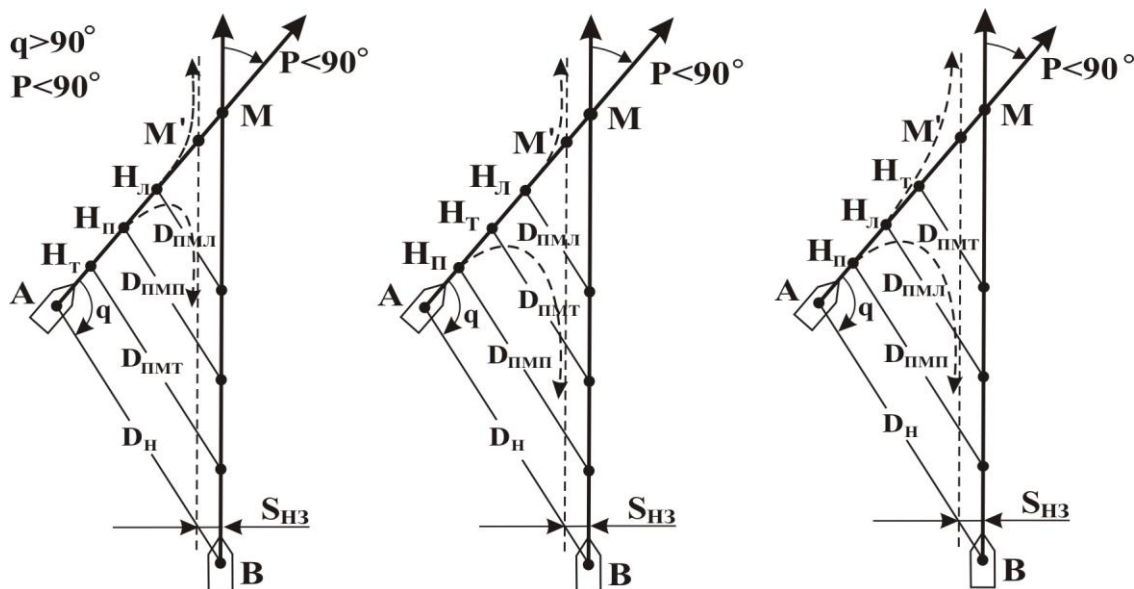


Рис.2. Расчетная схема анализатора 1, для очередности наступления маневров: а) ЗП - право на борт – лево на борт; б) право на борт – ЗП – лево на борт; в) право на борт – лево на борт – ЗП

Для определения вида «маневра последнего момента» необходимо рассчитать и произвести сравнение указанных видов маневров и определить расстояние до другого судна и время, когда наступает последняя возможность предупредить столкновение маневрированием собственного судна с учетом навигационного запаса. Такие расчеты можно выполнить заблаговременно для режима движения собственного судна и другого, которое является опасным. Блок-схема анализатора 1 приведена на рис. 3.

Аналогично расчетная схема и блок – схема алгоритма принятия решения были разработаны для каждого из десяти анализаторов. Они позволяют заблаговременно определить время наступления чрезмерного и опасного сближения и создать систему поддержки принятия решения по виду маневра последнего момента.

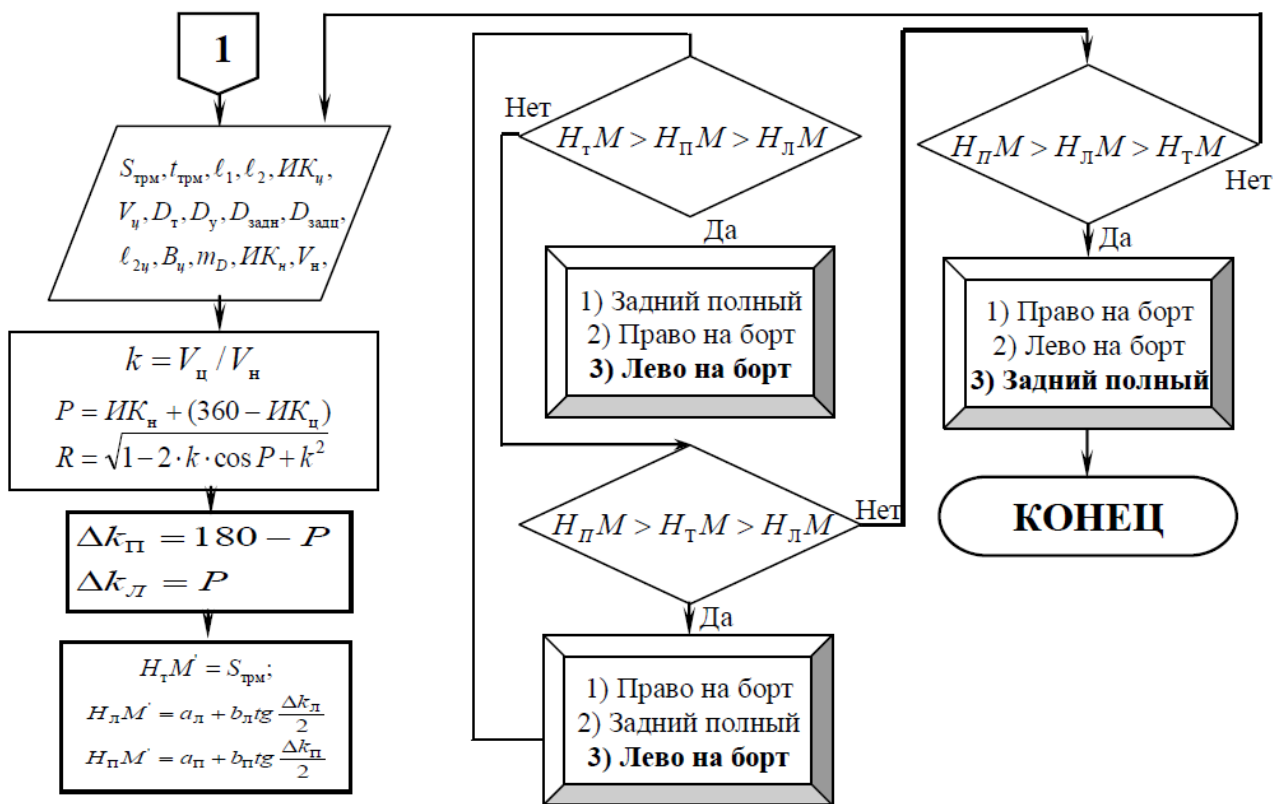


Рис.3. Блок-схема анализатора 1 для судна справа

Выводы и предложения

Разработанные расчетные схемы, алгоритмы и устройства содержат впервые предложенные способы и методики создания заданного алгоритма функционирования системы управления судном и контроля над процессом перемещения и сближения, включая оценку чрезмерного и опасного сближения, а также выбор маневра для предупреждения аварийного происшествия. Это позволяет автоматизировать как процесс планирования траектории движения так и служит теоретической основой для создания системы поддержки принятия решения.

Результаты могут быть использованы при разработке навигационных устройств контроля над процессом движения судов в стесненных условиях, и в учебном процессе в морских учебных заведениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов/Г.Б. Вильский, А.С. Мальцев, В.В. Бездольный, Е.И. Гончаров. // Под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. – Одесса-Николаев: Феникс, 2007. – 456 с.
2. Леонтьев В.А. Формирование профессиональных навыков судоводителей. / В.А.Леонтьев. –М.: Транспорт, 1987. -224 с.
3. Мальцев А.С., Голикова В.В. Динамика психофизиологических функций у курсантов и судоводителей при решении задач судовождения на радиолокационном тренажере. //Актуальные проблемы транспортной медицины :Сб. научн. трудов/ УкрНИИ медицины транспорта.. Вып.1(7). –Одесса: 2007. –С. 20-26.
4. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. –Одесса.: Латстар, 2002. -310с.
5. Мамонтов В.В. Ранжирование и иерархия информации в системе управления движением судна. / В.В.Мамонтов // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА Вып. 20 –Одесса: «ИздатИнформ», 2013. – С. 117-129.
6. А.С. №1604046 СССР. Устройство для предотвращения столкновения судов. /А.С. Мальцев, В.И. Коваленко. — Заявл. 11.05.88: Зарегистр. 1.06.1990.
7. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении./А.С.Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И. И. Ворохобин// – Одесса. :Морской тренажерный центр, 2013. – 303 с.
8. Патент на корисну модель. Мальцев А.С., Ворохобін І.І., Соколенко В.І.. Пристрій для попередження посадки судна на міліну. МПК (2011.01) G08G 3/00. Номер заявки: U 2010 09828. Пріоритет от 10.03.2011 г.
9. Мальцев А.С. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов./А.С. Мальцев, А.П. Бень, Нгуен Тхань Шон.// Судовождение: Сб. Научн. Трудов/ ОНМА. Выл.16 – Одесса: “Издат информ”, 2009. –с.97- 107.