

В.Г. ШЕРСТЮК

**Метод определения границ  
областей безопасности  
динамического объекта на основе  
прецедентов**

УДК 004.986

Херсонский  
национальный  
технический  
университет,  
г. Херсон

*В работе рассмотрена задача назначения норм оценки безопасности для взаимодействующих динамических объектов в информационно-сложных ситуациях. Предложено для формализации условий сближения использовать аппарат приближенных множеств, нормы оценки безопасности устанавливать исходя из областей взаимных обязанностей. Решение задачи назначения норм оценки безопасности целесообразно искать по прецедентам, для чего предложены структура интеллектуальной системы и способ решения задачи.*

Рост численности управляемых оператором современных динамических объектов (ДО), значительное повышение их скоростей и плотности перемещения приводит к увеличению числа инцидентов и аварий, поэтому на сегодняшний день весьма актуальной является проблема обеспечения безопасного управления ДО.

Совместное взаимодействие множества ДО на ограниченном пространстве образует открытую эргатическую сложную динамическую систему (СДС) с целенаправленным поведением.

Оператор для принятия решений использует субъективную оценку сложившейся в СДС ситуации, основанную на классификации множества окружающих объектов и выделения подмножества опасных и потенциально опасных взаимодействующих объектов.

Адекватность действий оператора существенно зависит от корректности оценки ситуации, которая выполняется в условиях неполноты и неточности наблюдения СДС, неопределенности и противо-

речивости правил взаимодействия ДО и непредсказуемости действий операторов [1], что и приводит к субъективности данной оценки и ее зависимости от психофизиологического состояния оператора [2,3], особенно в стесненном пространстве при высоком темпе взаимодействия ДО, когда время на принятие решений ограничено, а для оператора складываются информационно-сложные ситуации [4], создающие значительные риски и угрозы.

Сложность построения адекватных математических моделей для нестационарных и нелинейных процессов, происходящих в СДС, образованных взаимодействием ДО, препятствует выносу оператора за контур управления и использованию большинства классических и современных методов управления [5]. В указанных условиях одним из важнейших направлений повышения надежности и безопасности управления является внедрение интеллектуальных систем, способных повысить эффективность и своевременность решений и снизить влияние «человеческого фактора».

В то же время, для рассматриваемого класса СДС задача априорного построения исчерпывающего множества описывающих правил практически неосуществима, а его верификация в принципе нереализуема [6], что исключает применение значительного числа известных моделей интеллектуального управления, и приводит к постановке проблемы интеллектуальной поддержки принятия решений оператором [7]. Однако, вопросы интеллектуальной поддержки операторов для решения задач управления ДО в реальном времени проработаны недостаточно, и в связи с участвовавшими случаями инцидентов и аварий ДО *актуальны* и представляют значительный интерес для исследования.

Поскольку оператор в информационно-сложных ситуациях принимает решения, в первую очередь исходя из собственного опыта, навыков и знаний о закономерностях управления ДО, наиболее адекватной моделью интеллектуальной поддержки является использование прецедентов [8] для накопления опыта решения оператором различных задач управления ДО. Одной из таких задач является разбиение множества окружающих объектов на подмножества опасных и неопасных.

Целью данной работы является построение эффективного и практически применимого метода классификации окружающих объ-

ектов в ИС управления ДО реального времени на основе прецедентов.

В настоящее время для оценки опасности объектов операторами используются вычисляемые параметры кратчайшего сближения [9], а также параметры изменения пеленга на объект и дистанции до объекта [10]. В основе данного подхода лежит широко используемый в бортовых комплексах технических средств ДО способ оценки опасности сближения, основанный на определении линейной (дистанции кратчайшего сближения  $D$ ) и временной (оставшегося до момента наступления кратчайшего сближения времени  $T$ ) характеристик, при этом оценка опасности требует сравнения наблюдаемых параметров сближения с заданными значениями (нормами) предельно-допустимых дистанции кратчайшего сближения  $D_z$  и времени  $T_z$ .

На рис. 1 показан ДО  $A_0$ , имеющий известные пространственные координаты  $(\xi_0, \chi_0)$  и параметры движения  $(K_0, V_0)$ , а также взаимодействующий ДО  $A_i$  с наблюдаемыми с заданной точностью пространственными координатами  $(\xi_i, \chi_i)$  и параметрами движения  $(K_i, V_i)$ . Очевидно, что дальнейшее перемещение  $A_0$  и  $A_i$  при неизменных траекториях приведет к достижению кратчайшей дистанции  $D_i$  через некоторое время  $T_i$ , после чего дистанция станет увеличиваться (если не произойдет аварийная ситуация).

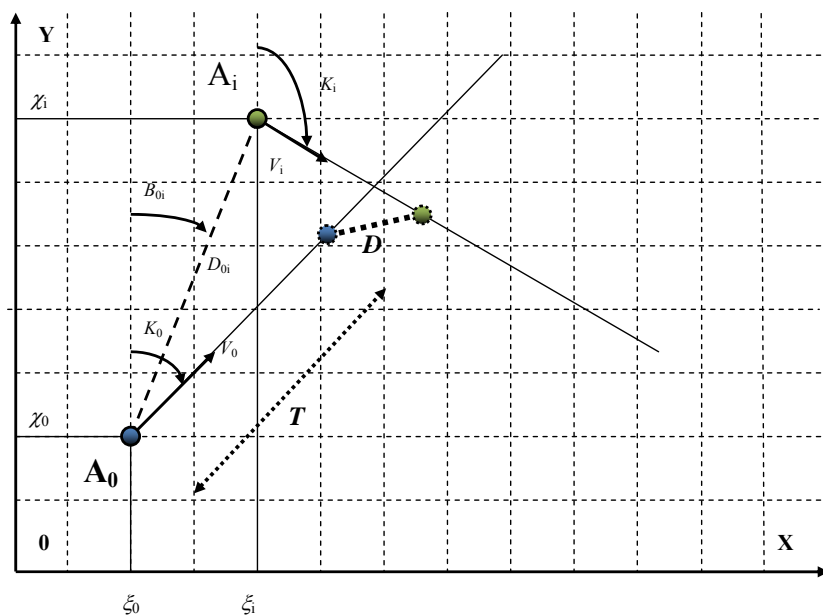


Рис. 1. Определение кратчайшей дистанции сближения и кратчайшего времени сближения

Если  $D_i < D_z$ , то  $A_i$  является для  $A_0$  *ситуационным возмущением*, что требует от оператора определенных действий по компенсации возмущения. Таким образом, параметры кратчайшего сближения являются краеугольным камнем обеспечения безопасности ДО, поскольку именно с их использованием оператор  $A_0$  решает, принимать ли меры по компенсации  $A_i$  маневром, используя известные ему правила взаимодействия ДО, или спокойно продолжать движение.

При свободном (не стесненном в пространстве) движении ДО используют стандартные, со значительным запасом, значения  $D_z$  и  $T_z$  [11]. В условиях стесненного движения, а также при множественных ситуационных возмущениях, использование завышенных значений параметров кратчайшего сближения недопустимо, поскольку безопасности ДО  $A_0$  угрожает «пропуск» опасного взаимодействия с  $A_i$ . В то же время, заниженные значения норм  $D_z$  и  $T_z$  создают повышенную напряженность в работе оператора, квалифицируя значительное число ДО как опасные и вызывая угрозу безопасности под воздействием «человеческого фактора» при интуитивном решении множества задач компенсации.

Вследствие того, что способы определения  $D_z$  и  $T_z$  не формализованы, на практике предельно-допустимые значения параметров сближения оператор устанавливает сообразно ситуации, опираясь на свой опыт и сложившуюся практику [12].

Следует заметить, что вопросы определения  $D_z$  и  $T_z$  при стесненном взаимодействии ДО ранее рассматривались в ряде работ. В [13] предложено устанавливать значения параметров  $D_z$  и  $T_z$  на основе статистических наблюдений, в [14] предложено оценивать величину  $D_z$  с учетом факторов стохастической погрешности измерений, влияния физической среды, габаритов ДО и запаса дистанции на случай форс-мажорных обстоятельств, при этом многие динамические составляющие остались за пределами рассмотрения [15].

В развитие [14] можно предложить оценивать норму предельно-допустимой дистанции сближения как сумму семи составляющих, включая динамические:

$$D_z = d_0 + d_1 + d_I + d_\Omega + d_M + d_W + d_\Delta, \quad (1)$$

где  $d_0$  - базовая составляющая, обусловленная габаритами ДО;

$d_1$  - составляющая, учитывающая скорость ДО и плотность движения;

$d_I$  - составляющая, учитывающая минимальный критический запас дистанции;

$d_\Omega$  - составляющая, учитывающая физические воздействия среды, например, эффект «присасывания»;

$d_M$  - составляющая, учитывающая маневренные и инерционные характеристики ДО;

$d_\Delta$  - составляющая, учитывающая стохастические погрешности измерений;

$d_W$  - составляющая, учитывающая динамические возмущения и воздействия внешней среды.

Наличие в (1) составляющих стохастической природы, а также «размытость» составляющих  $d_1$  и  $d_I$  приводят к значительной субъективности оценки  $D_z$  операторами. Оценка  $D_z$  операторами взаимодействующих ДО будет различной как в силу субъективности, так и в силу зависимости от габаритных размеров.

Оценка  $T_z$  зависит от  $D_z$  и предполагаемой скорости движения ДО. При выполнении взаимодействующими ДО маневрирования вектора их скоростей изменяются, в результате чего изменяется и

оценка  $T_z$ . В то же время, неточность и запаздывание наблюдаемых техническими средствами параметров взаимодействия ДО искажает оценки значений норм  $D_z$  и  $T_z$ . Воздействие указанных факторов приводит к значительной субъективности процесса принятия решений оператором и чрезмерной подверженности влиянию «человеческого фактора».

Известен также подход [16], позволяющий разделить окружающее пространство на безопасную (домен Гудвина) и опасную зоны. Тогда задача оператора состоит в исключении попадания внутрь домена безопасности ДО любых других объектов, а любое вторжение посторонних объектов в границы домена квалифицируется как угроза безопасности. Установлено, что форма и размер домена, как и предельно-допустимые значения  $D_z$  и  $T_z$ , зависят от множества факторов стохастического характера, затрудняющих определение границ домена, причем и здесь наиболее существенно влияние человеческого фактора [17], в связи с чем в [18] предложена идея «нечеткой границы» домена, а в [19] идея развита в направлении создания «нечеткого домена безопасности» (рис. 2).

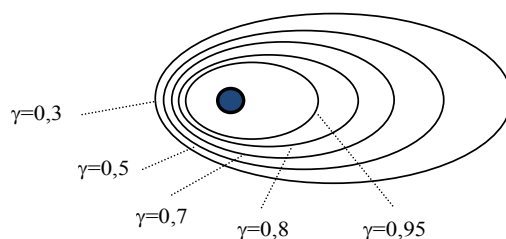


Рис. 2. Графическое представление нечеткого домена безопасности

Нечеткий домен представляет собой обозначенное вокруг ДО пространство, которое оператор должен удерживать свободным от присутствия других объектов. Размер и форма нечеткого домена зависят от принятого уровня безопасности, понимаемого как степень принадлежности текущей ситуации нечеткому множеству «безопасных ситуаций». Тогда, в зависимости от ситуации, оператор выбирает минимально допустимый уровень безопасности  $\gamma$ , который и задает необходимые для управления ДО границы домена. Под влиянием [18] в работе [20] предложено термины переменных  $D_z$  и  $T_z$

представлять нечеткими, а границы между ними – масштабировать в зависимости от ряда факторов. Однако, как построение функции принадлежности нечеткого множества «безопасных ситуаций», так и построение нечетких оценок  $\hat{D}_z$  и  $\hat{T}_z$  предлагается выполнять либо статистическими методами, либо методом экспертного опроса, что ставит вопрос практической применимости данного подхода для рассматриваемой задачи.

Очевидно, что предельно-допустимые значения  $D_z$  и  $T_z$  являются частным случаем домена безопасности, имеющего форму окружности. В [21] показано, что различные модели оценки параметров (доменов) безопасности дают значительно отличающиеся результаты, вследствие чего неприменимы на практике, и особенно в стесненных условиях.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Узким местом в классификации объектов оператором является расчет норм оценки безопасности – условий кратчайшего сближения или границ доменов. Отсутствие формальных методов расчета данных норм приводит к недопустимой субъективности при их назначении и значительному влиянию «человеческого фактора» на безопасность ДО;

2. В информационно-сложных ситуациях формализация норм оценки безопасности составляет значительную проблему, поскольку они зависят от воздействия множества факторов, большинство из которых имеют стохастический характер;

3. Наличие «размытых» составляющих при назначении норм оценки безопасности требует качественного представления неточности информации, причем использование нечетких норм противоречит основной цели управления ДО, заключающейся в обеспечении его гарантированной безопасности.

4. Реализация интеллектуальной поддержки принятия решений по назначению норм безопасности позволит оператору избавиться от информационных и временных перегрузок, снизить зависимость качества управления ДО от психофизиологического состояния и эвристических характеристик оператора.

Для решения задачи назначения норм безопасности по прецедентам целесообразно сформировать контекст безопасности ДО и установить пространственную структуру проблемной ситуации.

В [22] предложено рассматривать контекст безопасности для разграничения областей взаимных обязанностей ДО при их взаимодействии, для чего ввести три различных значения  $D_z$ , разделяющих область свободного перемещения, область своевременного маневра, область запоздалого маневра и область экстренного маневра, исходя из того, что при выполнении своевременного маневра оператор действует в рамках существующих правил взаимодействия, ожидая соответствующих правилам действий и от оператора взаимодействующего ДО; при переходе в область запоздалого маневра оператор вынужден принимать меры к компенсации взаимодействующего ДО из соображений обеспечения безопасности, даже если правила взаимодействия того не требуют. Переход в область экстренного маневра фиксирует предаварийную ситуацию, когда требуется выполнять уклонение всеми доступными средствами, даже вопреки правилам взаимодействия.

В соответствии с идеей [22] будем рассматривать контекст безопасности  $S_i^{CTZ}$  как вектор приближенной оценки границ областей безопасности  $\bar{U}$ , устанавливающий границы областей экстренного, запоздалого, своевременного маневрирования и свободного движения (соответственно окружности  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  на рис. 3 с центром в точке местоположения ДО  $A_0$ ), на основе приближенных оценок дистанций безопасности  $D_z$ ,  $D_s$  и  $D_u$ , т. е.  $S_i^{CTZ} = \bar{U} = \langle D_z, D_u, D_s \rangle$ .

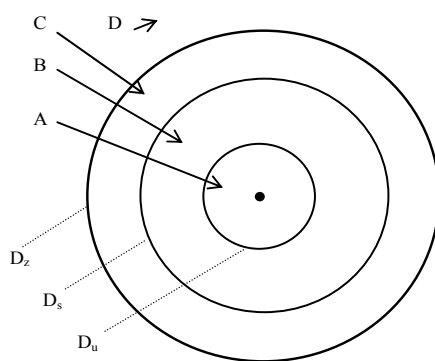


Рис. 3. Контекст безопасности ДО



Пространственная структура проблемной ситуации должна соотносить каждый ДО  $A_i$  к определенному пространственному сектору в рамках принятого разбиения контролируемого техническими средствами ДО пространства  $H$ .

Для решения задачи назначения норм оценки безопасности представим схематически пространственную структуру ситуации как состоящую из секторов в выделенных на рис. 3 областях взаимных обязанностей (рис. 4).

На рис. 4 контролируемое пространство делится на нумерованные в пределах четвертей окружности сектора по  $30^\circ$  каждый, а также на круговые зоны  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ , разделенные

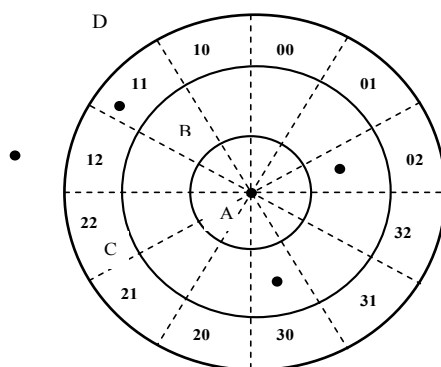


Рис. 4. Схема пространственной структуры проблемной ситуации

принятыми границами областей безопасности согласно  $S_i^{CTZ}$ . Таким образом, местоположение ДО  $A_i$  может приписываться определенному сектору и указываться его именем, например «B02».

Описание пространственного положения ДО  $A_i$  в контексте  $S_i^{STR}$  создает пространственную структуру ситуационных возмущений  $STR$  на текущий момент времени  $t_k$  (например, на рис. 4 наблюдается структура «4,D12,C11,B01,B30»).

Представленная пространственная структура позволяет:

а) использовать концепцию домена безопасности, присваивая каждому из секторов пространства свою собственную норму оценки параметров кратчайшего сближения;

б) обобщить пространство взаимодействия ДО до трехмерного, рассматривая сектора безопасности на поверхности шара.

Полнота и точность описания пространственной структуры зависит от обеспечиваемых условий наблюдаемости, которые в свою очередь зависят от контекста внешней среды  $S_k^M$ , определяемого вектором параметров  $x^W$ , т.е.  $S_k^M = \langle x^W \rangle$ .

Выберем формальный аппарат для представления норм оценки безопасности на основе значений границ областей безопасности  $D_z$ ,  $D_s$  и  $D_u$  и соответствующих им при неизменной скорости ДО значений  $T_z$ ,  $T_s$ ,  $T_u$ .

Нечеткие множества слабо пригодны для формализации условий кратчайшего сближения, поскольку функция принадлежности оценки значений границ областей безопасности зависит от многих слабоформализуемых факторов, а производить ее построение экспертным методом в режиме реального времени не представляется возможным. В то же время, существует достаточно развитая теория приближенных множеств (*Rough Set*) [23], являющихся хорошей альтернативой нечетким множествам, но в отличие от последних, не требующих априорного построения функций принадлежности, что для решаемой задачи является существенным преимуществом.

В основу теории приближенных множеств положена идея качественно представленных неточных знаний – знание считается неточным, если оно содержит неточные концепты [24]. Неточные концепты могут быть определены приблизительно в рамках доступного пространства знаний с использованием двух точных концептов, называемых нижним и верхним приближением.

Для некоторого рассматриваемого концепта  $X \in U$  и заданного отношения неразличимости  $R$  нижнее приближение  $POS_R(X)$  состоит из всех объектов, которые *необходимо* принадлежат концепту  $X$ , а верхнее приближение  $NEG_R(X)$  состоит из всех объектов, которые *возможно* принадлежат концепту  $X$ . Пространство между нижним и верхним приближением является граничной областью концепта  $BND_R(X)$  (см. рис. 5), состоящей из всех объектов, которые не могут быть однозначно сопоставлены  $POS_R(X)$  или  $NEG_R(X)$  с использованием доступных на данный момент знаний:

$$\underline{R}X = \bigcup \{Y \in U / R : Y \subseteq X\}, \quad (2)$$

$$\bar{R}X = \bigcup \{Y \in U/R : Y \cap X \neq \emptyset\},$$

$$POS_R(X) = \underline{R}X, \quad NEG_R(X) = U - \bar{R}X, \quad BND_R(X) = \bar{R}X - \underline{R}X.$$

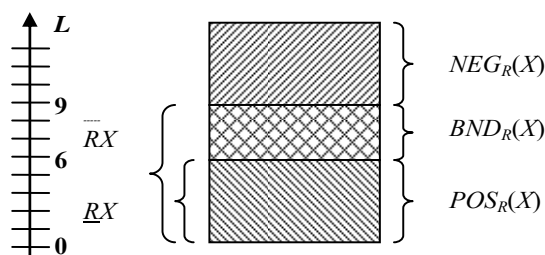


Рис. 5. Определение областей приближенного множества

На рис. 5 показано использование приближенной оценки для размывания концепта  $L$  («дистанция»). Значения  $L > 9$ , попадающие в область верхнего приближения, могут рассматриваться как «далеко», значения  $L < 6$ , попадающие в нижнюю область приближения – как «близко», а значения  $6 \leq L \leq 9$  – как область неопределенности «неблизко, но и недалеко».

Следует заметить, что в [23] отношение неразличимости введено как отношение эквивалентности. Если заменить отношение эквивалентности отношением подобия, приближенное множество можно «смягчить», что позволит вычислять оценки подобия в интеллектуальных системах (ИС), основанных на прецедентах [25].

С помощью формального аппарата приближенных множеств представим неопределенность условий кратчайшего сближения без использования априорной информации, «грубым» образом, когда информация в промежутке между верхним и нижним приближениями неизвестна. В этом случае  $POS_R(X)$  и  $NEG_R(X)$  задают интервал, внутри которого находится искомая оценка значения границы области безопасности с некоторой точностью  $\alpha_R(X) = \text{card}(\underline{R}X) / \text{card}(\bar{R}X)$ .

Границы областей безопасности могут быть определены как приближенные оценки интервалов, заданные граничными областями  $BND_{H1}$ ,  $BND_{H2}$ ,  $BND_{H3}$  (рис. 6), при этом:

$$\begin{aligned} POS_{H3} &= NEG_{H2} \cup BND_{H2} \cup POS_{H2}, \\ POS_{H2} &= NEG_{H1} \cup BND_{H1} \cup POS_{H1}. \end{aligned} \quad (3)$$

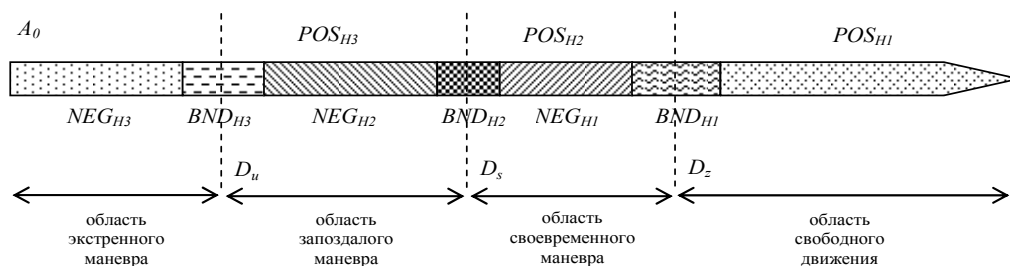


Рис. 6. Определение значений границ безопасности

Таким образом, пространство взаимодействия  $H$  разделяется на область свободного движения  $H1$ , область своевременного маневра  $H2$ , область запоздалого маневра  $H3$  и область экстренного маневра  $NEG_{H3}$  с помощью приближенных оценок значений границ безопасности, соответственно  $\tilde{D}_z$ ,  $\tilde{D}_s$  и  $\tilde{D}_u$ .

Назначение норм безопасности может быть сведено к нахождению оценок значений  $\tilde{D}_z$ ,  $\tilde{D}_s$  и  $\tilde{D}_u$ , и, при известной оценке параметра скорости ДО на данный момент времени, вычислению моментальных значений  $\tilde{T}_z$ ,  $\tilde{T}_s$  и  $\tilde{T}_u$ . На основе норм оценки безопасности далее можно классифицировать каждый из взаимодействующих объектов в соответствии с [26].

Формальных методов для определения достоверных оценок границ областей безопасности не существует, но в [27] отмечается повторяемость оценок границ безопасности в одинаковых проблемных ситуациях для одних и тех же классов ДО. Данная особенность обосновывает использование в целях определения норм оценки безопасности подхода, основанного на прецедентах [28]. Предлагаемый метод основан на следующем:

а) для представления оценок границ областей безопасности используется формальный аппарат приближенных множеств, при этом приближенная оценка каждой из границ областей безопасности может быть задана интервалом:

$$\begin{aligned} \tilde{D}_z &= [\tilde{D}_{z_{\min}}; \tilde{D}_{z_{\max}}], \\ \tilde{D}_s &= [\tilde{D}_{s_{\min}}; \tilde{D}_{s_{\max}}], \\ \tilde{D}_u &= [\tilde{D}_{u_{\min}}; \tilde{D}_{u_{\max}}]. \end{aligned} \quad (4)$$

Интервал приближенной оценки границы любой из областей может «сжиматься» при уточнении наблюдений СДС и условий сближения, повышая точность назначения норм.

б) в реальных условиях оценки  $\tilde{D}_z$ ,  $\tilde{D}_s$  и  $\tilde{D}_u$  могут быть получены на основе прецедентов ИС, представленной на рис. 7.

в) эффективность оценки границ областей безопасности по прецедентам существенно зависит от компетентности базы прецедентов (БП), т.е. от полноты охвата всех возможных проблемных ситуаций для заданного класса ДО, поэтому для практического применения прецедентной ИС требуется обеспечить достаточную ее компетентность.

Прецедентная ИС может быть формально представлена как

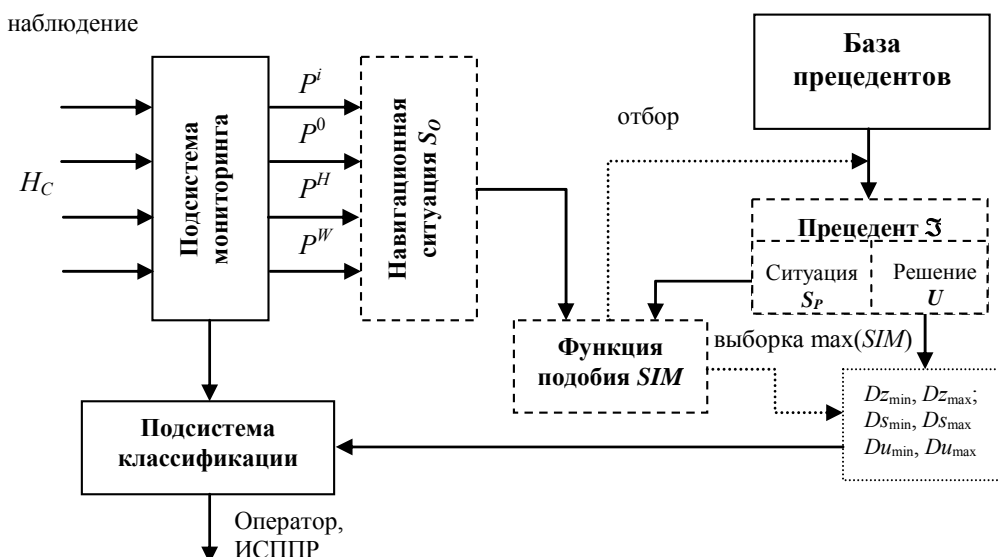


Рис. 7. Определение оценок норм безопасности по прецедентам

$$PS = \langle \mathfrak{Z}, SM_R, PC \rangle, \quad (5)$$

где  $\mathfrak{Z}$  – база прецедентов;

$SM_R$  – мера подобия, заданная над отношением  $R$ ;

$PC$  – цикл обработки прецедентов.

БП  $\mathfrak{Z}$  можно рассматривать как множество прецедентов  $\{e_1, \dots, e_j, \dots, e_n\}$ , каждый из которых представлен парой  $e_j = \langle s_j, r_j \rangle$ :

$$\mathfrak{Z} = \{ \langle s_1, r_1 \rangle, \langle s_2, r_2 \rangle, \dots, \langle s_n, r_n \rangle \}. \quad (6)$$

Описание проблемной ситуации  $s_j$  прецедента  $e_j = \langle s_j, r_j \rangle$  на момент времени  $t_k$  представляется как

$$s_j = \langle x_k^0, x_C^0, x_k^i, x_C^i, S_k^M, S_k^{STR} \rangle, \quad (7)$$

где  $S_k^M$  – множество параметров контекста внешней среды;

$S_k^{STR}$  – структурно-позиционный контекст ДО;

$x_k^i$  – вектор известных параметров движения ДО  $A_i$ ;

$x_C^i$  – вектор известных характеристик ДО  $A_i$ ;

$x_k^0$  – вектор параметров движения ДО  $A_0$ ;

$x_C^0$  – вектор характеристик ДО  $A_0$ .

Вектор параметров движения ДО  $x_k^i$  задан как:

$$x_k^i = \langle K_i, V_i, X_i, Y_i \rangle_{t_k}, \quad (8)$$

где  $X_i, Y_i$  – пространственные координаты ДО  $A_i$ ;

$K_i, V_i$  – курс и скорость ДО  $A_i$ .

Исходя из  $x_k^i$  выполняется привязка ДО  $A_i$  к пространственной структуре  $STR$ , а структурно-позиционный контекст  $S_k^{STR}$  представляет собой относительную позицию  $A_i$  (сектор) на структуре  $STR$  (например, сектор «02»).

Решением  $r_j$  прецедента  $e_j = \langle s_j, r_j \rangle$  является вектор приближенных оценок границ областей безопасности  $\bar{U}_i^{STR} = \langle \tilde{D}_z, \tilde{D}_u, \tilde{D}_s \rangle$  для проблемной ситуации, соответствующей описанию  $s_j$ . ИС выполняет поиск подходящего прецедента на основании подобия (оцениваемого функцией подобия  $SIM$ ) текущей проблемной ситуации  $S_0$  и эталонных ситуаций  $s_j$  в имеющемся множестве прецедентов, составляющих БП  $\mathfrak{Z}$ . Эталонная ситуация  $s_k$ , имеющая наивысшую оценку подобия с проблемной ситуацией  $S_0$ , считается искомой –

соответствующее ей решение  $r_k$  прецедента  $e_k = \langle s_k, r_k \rangle$  представляется оператору.

Для построения функции  $SIM$  может быть использован известный [29] метод ближайшего соседа  $K_{NN}$ , в основе которого лежит способ измерения степени совпадения значений параметров, описывающих ситуацию. Степень сходства определяется путем поординатного сопоставления параметров проблемной ситуации с параметрами ситуации прецедента, в результате чего определяют расстояние  $\delta_{Oj}$  между проблемной ситуацией и ситуацией прецедента, а также максимальное расстояние  $\delta_{\max}$  исходя из границ диапазонов параметров всех ситуаций множества прецедентов БП. Тогда степень сходства определяется как  $SIM = 1 - \delta_{Oj} / \delta_{\max}$ . Одним из главных требований к данной ИС является требование по быстродействию – ИС должна функционировать в реальном времени [28].

Наработка необходимого объема БП для обеспечения достаточной компетентности – задача достаточно сложная, поскольку создание многих эталонных ситуаций в реальных условиях взаимодействия ДО связано со значительными рисками. В то же время, для достижения заданного уровня компетентности можно использовать результаты имитации реальных проблемных ситуаций опытными операторами на специализированных тренажерах, что при современном уровне развития коммуникационных каналов является достаточной основой для накопления необходимого объема БП. Появляется также возможность обмена БП между ИС ДО в локальных или глобальных информационных пространствах при кодировании прецедентов с помощью *XML*, что позволит распространять их через *Internet*-шлюзы или специализированные сети по предварительной подписке или по запросу, например по достижению определенной пространственной зоны в процессе взаимодействия.

Полученные по прецедентам приближенные оценки границ областей безопасности ДО позволяют обоснованно произвести классификацию взаимодействующих объектов по степени их опасности и областям взаимных обязанностей с учетом того, что смещение установленных границ областей безопасности в сторону боль-

ших/меньших значений оказывает значительное влияние на искомую классификацию.

*Выводы.* В работе рассмотрена задача назначения норм оценки безопасности для взаимодействующих ДО в информационно-сложных ситуациях. Показано, что для формализации условий сближения ДО целесообразно использовать математический аппарат приближенных множеств, а нормы оценки безопасности устанавливать исходя из областей взаимных обязанностей. Решение задачи назначения норм оценки безопасности предложено искать по прецедентам. Представлена структура ИС, решающей поставленную задачу, и способ ее решения.

В работе получили дальнейшее развитие теоретические основы интеллектуальной поддержки принятия решений оператором ДО в информационно-сложных ситуациях. Полученные результаты могут быть использованы при разработке ИС управления ДО, что позволит снизить информационную перегрузку оператора, нейтрализовать влияние факторов субъективности при анализе текущей ситуации, сократить время принятия решений в целом.

Применение данной ИС в информационно-сложных для оператора ситуациях приведет к снижению чрезмерного влияния «человеческого фактора» на качество и своевременность принятия решений по управлению ДО.

### Литература

1. Павлов В.В., Антомонов Ю.Г., Ивахненко А.Г. Эргатические динамические системы управления. К.: Наукова думка, 1975. 160 с.
2. Зиньковская С.М. Полет без стрессов: человеческий фактор в авиации. Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т, 2005. 130 с.
3. Топалов В.П., Торский В.Г., Торский Ю.В. К проблеме человеческого фактора в судоходстве // Судовождение. 2004. Вып. 8. С.94-102.
4. Сиек Ю.Л. Соз Мин Лвин Принципы синтеза интеллектуальных систем управления морскими динамическими объектами // Искусственный интеллект. 2009. №4. С.448-456.
5. Быков Э.Б., Туркин И.И. Самоорганизующиеся системы управления судовыми техническими средствами // Рациональное управление предприятием. 2007. №1. С.74-76.
6. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
7. Геловани В.Л., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: Эдиториал-



УПСС, 2001. 304 с.

8. *Liu Y., Yang C., Du X.* A CBR-based Approach for Ship Collision Avoidance // Proceedings of the 21st International Conference IEA/AIS-2008. Lecture Notes In Artificial Intelligence. 2008. Vol. 5027. Pp.687-697.

9. *Степаненко В.В.* Формализация контроля текущей ситуации и принятие решений по ее управлению // Судовождение. 2001. Вып. 3. С.177-184.

10. *Zak B.* The problems of collision avoidance at sea in the formulation of complex motion principles // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. 2004. Vol.14. №4. Pp.503-514.

11. *Мальцев А.С.* Маневрирование судов при расхождении. Одесса: Морской тренажерный центр, 2004. 212 с.

12. *Statheros T., Howells G., McDonald-Maier K.* Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques // J. of Navigation. 2008. Vol.61. №.1. Pp.129-142.

13. *Goodwin E.M.* A statistical study of ship domain // J. of Navigation. 1975. Vol.28. №.3. Pp.328-344.

14. *Синх Б.К.* Выбор предельно-допустимой дистанции кратчайшего сближения // Судовождение. 2001. Вып.3. С.39-43.

15. *Сафин И.В.* Анализ результатов имитационного моделирования процесса расхождения судов // Судовождение. 2003. Вып.6. С.122-129.

16. *Pietrzykowski Z., Uriasz J.* The Ship Domain – A Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area // J. of Navigation. 2009. Vol.62. №.1. Pp.93-108.

17. *Pietrzykovski Z., Chomski J.* A Navigator Decision Support System in Planning a Safe Trajectory // 4th General Assembly Int. Association of Maritime Universities IAMU. Alexandria, 2003. Pp.4-10.

18. *Zhao J., Wu Z., Wang F.* Comments of ship domains // J. of Navigation. 1993. Vol.46. №.7. Pp.422.

19. *Tam C.K., Bucknall R., Greig A.* Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // J. of Navigation. 2009. Vol.62. №.3. Pp.455-476.

20. *Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л.* Мультиагентный подход к решению задачи расхождения судов // Судовождение. 2008. Вып.15. С.35-43.

21. *Алексишин А.В.* Использование зоны безопасности судна для снижения аварийности // Судовождение. 2005. Вып.10. С.3-8.

22. *Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е.* Гибкие стратегии расхождения судов. Одесса: КП ОГТ, 2007. 424 с.

23. *Pawlak Z., Jerzy W., Slowinski R., Ziarko W.* Rough Sets // Comm. of ACM. 1995. Vol.38. №.11. Pp.88-95.

24. *Pawlak Z.* Vagueness – a Rough Set View // Structures in Logic and Comp. Sci. 1997. Pp.106-117.

25. *Шерстюк В.Г.* Основы теории динамических сценарно-прецедентных интеллектуальных систем. Херсон: ХНТУ, 2012. 432с.

26. *Шерстюк В.Г.* Классификация целей в бортовой интеллектуальной системе управления морского подвижного объекта // Вестник Херсонского национального технического университета. 2010. №2(38). С.172-179.

27. *Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л.* Повышение информативности судовых систем предупреждения столкновений // Судовождение. 2009. Вып.16. С.18-26.

28. *Варшавский П.Р., Еремеев А.П.* Моделирование рассуждений на ос-

нове прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений  
// Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. №1. С.45-57.

29. *Pal S.K., Shiu S.C.* Foundations of Soft Case-Based Reasoning. N.Y.:  
J.Wiley&Sons, 2004. 274 p.

E-MAIL: V\_SHERSTYUK@BIGMIR.NET