

ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ СОВЕРШЕНСТВА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ

LINGUISTIC ASSESSMENT THE PERFECTION LEVEL OF SAFETY MANAGEMENT SYSTEM OF SHIPPING COMPANIES

В статье рассматривается важная, актуальная и практически значимая задача оценки уровня совершенства системы управления безопасностью судоходных компаний с целью обеспечения соответствия требованиям Международного кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнения. Основой для выполнения исследования явилась разработанная ранее по заказу Российского морского регистра судоходства методика проведения самооценки уровня совершенства систем управления безопасностью. В работе приведен анализ интеллектуального информационного обеспечения существующих экспертных и советующих систем в области обеспечения требований к безопасности функционирования сложных транспортных систем. Обоснована необходимость и предложена концепция использования лингвистических переменных для оценки факторов обеспечения безопасности. Разработана методология синтеза нечеткой фактуальной базы знаний о предметной области ядром которой являются нечеткие оценки, задаваемые экспертами. Построена новая теория синтеза баз данных и баз знаний на основе двухуровневых нечетких множеств значениями функций принадлежности которых являются нечеткие множества. Исследована и решена задача построения интегральной оценки уровня безопасности в случае, когда и множество факторов, и уровни их значимости представлены лингвистическими оценками. Обоснована возможность и целесообразность использования для формализации лингвистических оценок нечетких трапецевидных чисел, семантический смысл которых близок к высказываниям на естественном языке.

Показана практическая реализуемость и значимость разработанной концепции использования лингвистических переменных для решения задачи построения перспективных экспертных систем обеспечения безопасности мореплавания. Делается вывод о целесообразности применения нечетких экспертных оценок для формализации и решения проблемы оценки уровня совершенства систем управления безопасностью судоходных компаний.

The article discusses the important, urgent and practically important problem of estimating the level of perfection of the safety management system of shipping companies to ensure compliance with the requirements of the International management code for the safe operation of ships and pollution prevention. The basis for the implementation of the study was developed earlier by the order of Russian Maritime register of shipping methods of self-assessment of the level of perfection of safety management systems. In work the analysis of intellectual information support available and advising expert systems in the field of ensuring the safety requirements for operation of complex transport systems. The necessity and proposed the concept of using linguistic variables to evaluate factors of safety. The methodology of factual synthesis of the fuzzy knowledge base about the subject area the core of which are fuzzy estimates set by experts. Built a new theory of databases and knowledge bases based on two-level fuzzy set values of membership functions which are fuzzy sets. Investigated and solved the problem of constructing integral evaluation of the level of security in case when many factors and levels of their significance presents a linguistic assessments. The possibility and expediency of use for the formalization of linguistic assessments fuzzy trapezoidal numbers, the semantic meaning of which is close to the statements in natural language.

Shown the feasibility and the relevancy of the concept of the use of linguistic variables to solve the problem for the construction of advanced expert systems ensure the safety of navigation. The conclusion about expediency of application of fuzzy expert estimates to formalize and solve the problem of estimation of level of perfection of safety management systems of shipping companies.

Ключевые слова: нечеткие переменные, экспертные лингвистические оценки, уровень совершенства систем управления безопасностью.

Key words: fuzzy variables, linguistic expert evaluation, the level of perfection of safety management systems.

Введение

Основой обеспечения безопасности мореплавания является регулярное освидетельствование систем управления безопасностью (СУБ) (*Safety Management System (SMS)*) судоходных компаний на соответствие требованиям Международного кодекса по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращению загрязнения (МКУБ).

К настоящему времени по заказу Российского морского регистра судоходства (РМРС) разработана методика проведения самооценки уровня совершенства СУБ судоходных компаний [1]. В соответствии с методикой факторы, определяющие уровень безопасности структурированы на шесть ключевых областей, каждой из которых присвоен уникальный экспертный уровень значимости (вес).

А. Политика и ответственность Компании (1, 2, 3 разделы МКУБ).

В. Персонал и ресурсы (4, 5, 6 разделы МКУБ).

С. Безопасность ключевых операций (7 раздел МКУБ).

Д. Готовность к аварийным ситуациям (8 раздел МКУБ).

Е. Несоответствия и техническое обслуживание (9, 10 разделы МКУБ).

Ф. Документация и анализ эффективности СУБ Компании (11, 12, 13 разделы МКУБ).

Ключевые области содержат по 10 факторов, зафиксированных их описанием, уровнем значимости, рекомендациями по оценке и обеспечению безопасности.

Методика самооценки легла в основу экспертной системы «Оценка уровня совершенства СУБ судоходной компании», которая внедрена в РМРС и размещена на официальном сайте <http://www.rs-class.org/ru/register/services/ism/> в разделе «Освидетельствование систем управления безопасностью».

В разработанной программе задача экспертов сводится к заданию (вводу) оценок факторов для каждой из ключевых областей по десятибалльной (*четкой*) шкале. На рис. 1 представлена форма для ввода исходных данных, которая позволяет избежать возможных ошибок при наборе чисел с клавиатуры.

Ключевые области										
А : Политика и ответственность Компании										
a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	
4	9	8	9	8	7	10	10	6	1	
В : Персонал и Ресурсы										
b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b10	
7	9	5	1	9	4	5	1	1	5	
С : Безопасность ключевых операций										
c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	
5	6	1	7	6	5	9	5	6	7	
Д : Готовность к аварийным ситуациям										
d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	
4	7	7	8	6	6	7	7	6	6	
Е : Несоответствия и техническое обслуживание										
e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10	
1	1	4	4	3	4	10	4	5	7	
Ф : Документация и анализ эффективности СУБ Компании										
f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	
9	7	8	4	6	4	6	7	4	2	
Описание факторов										
a1 – Статус судоходной Компании, форма собственности и управления Компанией, ответственность закреплены юридически и способствуют развитию Компании и безопасной эксплуатации судов.										

Рис. 1. Форма для ввода экспертных оценок факторов

Уровень совершенства СУБ Компании представлялся как цифровой величиной (например, 5,62 на рис. 2), так и в форме принадлежности к лингвистической переменной «Уровень совершенства СУБ».

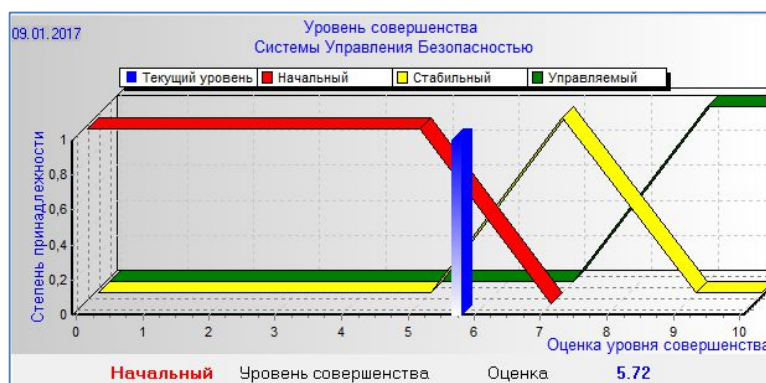


Рис. 2. Представление решения в виде нечетких множеств

В экспертной системе лингвистическая переменная «Уровень совершенства СУБ» состояла из 3 терм-множеств (нечетких переменных, или лингвистических оценок) – «Начальный уровень совершенства», «Стабильный уровень совершенства» и «Управляемый уровень совершенства». На рис. 2 представлены соответствующие нечеткие множества (их функции принадлежности).

Кроме этого программы позволяет получить подробную аналитическую информацию об уровнях оценок факторов каждой из ключевых областей, получить рекомендации по повышению уровня совершенства СУБ и т.д.

Логическим продолжением выполненного исследования по разработке методики проведения самооценки уровня совершенства СУБ судоходных компаний и внедрению в РМРС экспертной системы, является формирование концепции оценки уровня совершенства СУБ с позиций единого подхода, предусматривающего использование для представления баз данных и баз знаний, формируемых экспертами *лингвистических оценок*, семантически близких к высказываниям экспертов на естественном языке.

Синтез такой концепции и ее адаптация на специфику проблем обеспечения безопасности сложных транспортных и техногенных объектов позволит задействовать практически значимый и интуитивно понятный аппарат нечетких множеств, нечетких отношений и мягкого интеллектуального моделирования.

Теоретической базой для разработки послужили как классические издания [2-5], так и современные актуальные исследования в области разработки экспертных и советующих систем с применением аппарата нечетких вычислений, рассуждений и логических выводов, а также мягких методов оптимизации применительно к рассматриваемым предметным и проблемным областям, связанным с обеспечением безопасности транспортно-технологических объектов [6-10].

1. Постановка задачи

Объектом исследования являются судоходные компании. Задача заключается в оценке уровня совершенства СУБ судоходных компаний на основе структуры факторов, определяемой экспертами. Оценки факторов и уровень их значимости формулируются в терминах лингвистических переменных.

Таким образом на основании сложно структурированных по ключевым областям лингвистических оценок отдельных факторов требуется синтезировать *сводный показатель*, представимый в виде обобщенной лингвистической оценки уровня совершенства СУБ компании.

Разработчиком *метода сводных показателей* (МСП) по праву считается А.Н. Крылов, который предложил метод построения «формулы сравнительной оценки» проектов линкоров [11 - 13]. Суть метода состоит в «свертке» многих оценок исследуемого объекта в одну сводную (глобальную, интегральную, обобщенную, генеральную, синтетическую) оценку, синтезирующие отдельные (локальные, дифференциальные, частные, аналитические) показатели каче-

ства объекта. С помощью МСП можно сравнивать и оценивать качества разного рода (эффективность, надежность, предпочтительность, полезность) сложных многопараметрических систем.

2. Метод решения

Введем следующие обозначения:

U – множество судоходных компаний для которых выполняется анализ уровня совершенства СУБ;

F – двухуровневая (плоская) структура факторов;

C – множество ключевых областей на которые разделены факторы.

Решается проблема оценки уровня совершенства СУБ из U на двухуровневой структуре факторов F , задаваемых в виде лингвистических оценок. Все ключевые области и составляющие их факторы имеют свой также лингвистический уровень значимости (вес).

2.1 Синтез исходной фактуальной базы знаний

Очевидно любому эксперту (начиная со школьного учителя) проще и предпочтительней выносить суждение о степени успешности исследуемого объекта, свойства или субъекта в виде высказывания на естественном языке типа «Хорошо», «Удовлетворительно» и т.п., т.е. в виде лингвистической оценки.

Введем лингвистическую переменную «Оценка» (см. рис. 3).

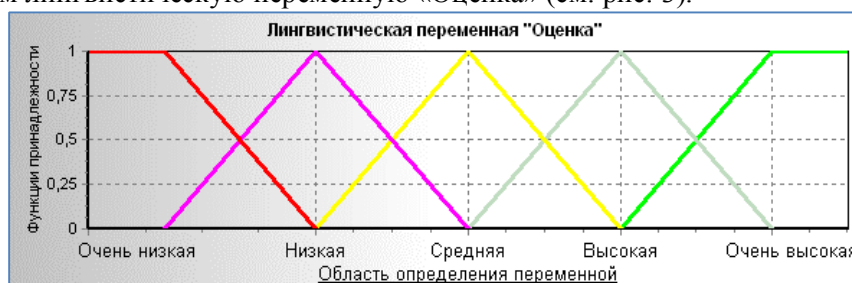


Рис. 3. Терм-множества лингвистической переменной «Оценка»

Отдельные терм-множества лингвистической переменной «Оценка» являются нечеткими переменными (лингвистическими оценками) – «Очень высокая (ОВ)», «Высокая (В)» и т.д., которые представимы нечеткими множествами, определяемые уникальными функциями принадлежности. В качестве таких функций принадлежности для простоты выбраны трапециевидные нечеткие числа, что не умаляет универсальности концепции построения лингвистической оценки уровня совершенства СУБ.

Все факторы, определяющие уровень совершенства структурированы в виде совокупности ключевых областей, имеющих свой уровень значимости (вес). Поэтому также вводится лингвистическая переменная «Уровень значимости ключевой области», с лингвистическими оценками, представленными на рис. 4.

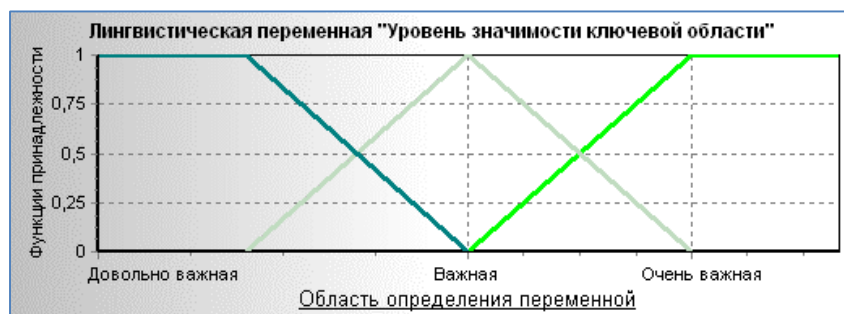


Рис. 4. Терм-множества для «Уровня значимости ключевых областей»

Каждый из факторов, входящих во все ключевые области также обладает своим уровнем значимости (см. рис. 5).



Рис. 5. Уровень значимости (веса) факторов

На рисунке использованы следующие сокращения НС – «Несущественный», НОВ – «Не очень важный», ДВ – «Довольно важный», В – «Важный». ОВ – «Очень важный», ЧВ – «Чрезвычайно важный».

Сохраняя предложенную ранее методологию решения задачи оценки уровня совершенства СУБ [1], соответствующая лингвистическая переменная синтезирована на базе трех нечетких переменных – «Начальный уровень совершенства (Н)», «Стабильный уровень совершенства (С)» и «Управляемый уровень совершенства (У)» с уникальными функциями принадлежности, представленными на рис. 6.

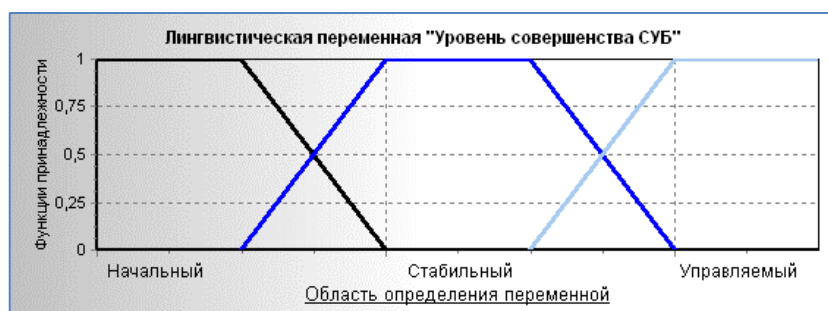


Рис. 6. Терм-множества переменной «Уровень совершенства СУБ»

Очевидно такая переменная может быть представлена в виде:

$$\tilde{A} = \int_x \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x},$$

где X – область определения – универсальное множество;

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ – значения функции принадлежности ($\forall x \in X$).

2.2 Формализация базы данных.

Уровни значимости ключевых областей представимы в виде нечетких множеств \tilde{P} :

$$\tilde{P} = \int_c \frac{\mu_{\tilde{P}}(c)}{c}.$$

Полученное множество является двумерным, так как значения функции принадлежности $\mu_{\tilde{P}}(c)$ являются нечеткими множествами, т.е. представимы в форме:

$$\tilde{P} = \int_c \int_X \frac{\mu_{\tilde{P}}(x)}{x} \frac{x}{c},$$

где X – область определения

Аналогично, уровень значимости факторов:

$$\tilde{W} = \int_{C \times F} \frac{\mu_{\tilde{W}}(f)}{f} = \int_{C \times F} \int_Y \frac{\mu_{\tilde{W}}(y)}{y} \frac{y}{f}.$$

Оценки Компаний по факторам:

$$\tilde{Q} = \int_{F \times C \times U} \frac{\mu_{\tilde{Q}}(u)}{u} = \int_{F \times C \times U} \frac{\int_z \frac{\mu_{\tilde{Q}}(z)}{z}}{u}.$$

Решение задачи по каждой из Компаний находится как свертка: $\tilde{D} = \tilde{P} \circ \tilde{W} \circ \tilde{Q}$, которая, очевидно, является нечетким множеством (уже не с трапециевидной функцией принадлежности).

Сравнительный анализ уровня совершенства Компаний может быть осуществлен на основе величин средних значений полученных нечетких чисел из \tilde{D} :

$$m(\tilde{A}) = \int_0^1 \frac{a(\alpha) + b(\alpha)}{2} d\alpha,$$

где $a(\alpha), b(\alpha)$ – левая и правая границы интервалов альфа уровней чисел.

Окончательно множество решений представляется в виде:

$$\tilde{D} = \int_U \frac{\mu_{\tilde{D}}(u)}{u},$$

здесь $\mu_{\tilde{D}}(u)$ – ранг Компании u на базе нечетких оценок из множества \tilde{D} .

Степени принадлежности Компаний к термам из \tilde{A} находится как пересечение среднего значения нечетких чисел с соответствующими графиками нечетких переменных, входящих в лингвистическую переменную «Уровень совершенства СУБ».

3. Практическая реализация

Исследуется уровень совершенства СУД трех компаний («Альфа», «Дельта», «Омега»):

$$U = (u_1 \mid u_2 \mid u_3).$$

Факторы представлены в виде структуры

$$F = (f_i^k \mid c_k)_{i=1,10}^{k=1,6}$$

На основании (априорных из базы знаний) экспертных заключений сформированы следующие массивы оценок:

Веса ключевых областей

$$\tilde{P} = \left(\begin{array}{c|c|c|c|c|c} \text{ОВ} & \text{В} & \text{ДВ} & \text{В} & \text{В} & \text{В} \\ \hline c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 \end{array} \right) =$$

$$= \left(\begin{array}{c|c|c|c|c|c} (0,5 \mid 0,8 \mid 1) & (0,2 \mid 0,5 \mid 0,8) & (0 \mid 0,2 \mid 0,5) & (0,2 \mid 0,5 \mid 0,8) & (0,2 \mid 0,5 \mid 0,8) & (0,2 \mid 0,5 \mid 0,8) \\ \hline c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 \end{array} \right).$$

Веса факторов по ключевым областям:

$$\tilde{W} = \left(\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c|c|c|c} c_1 & \text{В} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{В} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{ЧВ} \\ \hline c_2 & \text{В} & \text{НОВ} & \text{В} & \text{НОВ} & \text{В} & \text{ДВ} & \text{ОВ} & \text{В} & \text{В} & \text{В} \\ \hline c_3 & \text{ЧВ} & \text{НОВ} & \text{НС} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{ОВ} & \text{НС} & \text{ДВ} & \text{ОВ} \\ \hline c_4 & \text{В} & \text{ДВ} & \text{ОВ} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{В} & \text{ДВ} & \text{ДВ} & \text{ДВ} & \text{ДВ} \\ \hline c_5 & \text{НОВ} & \text{В} & \text{В} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{ДВ} & \text{ОВ} & \text{В} & \text{НОВ} & \text{ДВ} \\ \hline c_6 & \text{В} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{НОВ} & \text{В} & \text{ЧВ} & \text{НОВ} & \text{ДВ} & \text{В} \\ \hline \cdot & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 & f_7 & f_8 & f_9 & f_{10} \end{array} \right).$$

База данных (оценки по каждой Компании)

$$\tilde{Q} = \left(\begin{array}{c|cccccccccc} c_1 & C & OH & OH & OH & OH & C & OH & OH & OH & OH \\ c_2 & OH & H & OH & OH & H & H & H & OH & OH & C \\ c_3 & OH & H & OH & OH & OH & OH & H & C & H & OH \\ c_4 & OH & H & OH & OH & H & H & OH & H & OH & H \\ c_5 & OH & H & OH & H & OH & OH & C & OH & C & OH \\ c_6 & H & OH & OH & C & H & OH & OH & OH & H & OH \\ \vdots & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 & f_7 & f_8 & f_9 & f_{10} \end{array} \right) \oplus u_1$$

$$\oplus \left(\begin{array}{c|cccccccccc} c_1 & OB & OB & C & OB & C & OB & OB & C & OB & C \\ c_2 & C & B & B & C & B & H & B & B & C & B \\ c_3 & C & B & B & C & C & B & C & B & C & C \\ c_4 & B & OB & C & OB & C & B & C & C & OB & C \\ c_5 & OB & B & OB & B & OB & OB & B & OB & B & H \\ c_6 & C & B & B & C & B & C & B & B & C & B \\ \vdots & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 & f_7 & f_8 & f_9 & f_{10} \end{array} \right) \oplus u_2$$

$$\oplus \left(\begin{array}{c|cccccccccc} c_1 & OB & C & H & C & H & B & C & H & C & H \\ c_2 & H & OH & H & H & OH & H & OH & H & H & H \\ c_3 & H & OH & C & OH & C & H & OH & C & OH & H \\ c_4 & B & C & H & H & C & B & H & H & B & C \\ c_5 & H & H & H & H & H & H & H & H & H & H \\ c_6 & H & OH & H & H & OH & H & OH & H & H & OH \\ \vdots & f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 & f_7 & f_8 & f_9 & f_{10} \end{array} \right) \oplus u_3$$

Исходные данные в задаче являются значениями соответствующих нечетких переменных, т.е. трапециевидные числа, поэтому и решение (их двухуровневая свертка) также представляет собой совокупность нечетких чисел. (см. рис. 7)

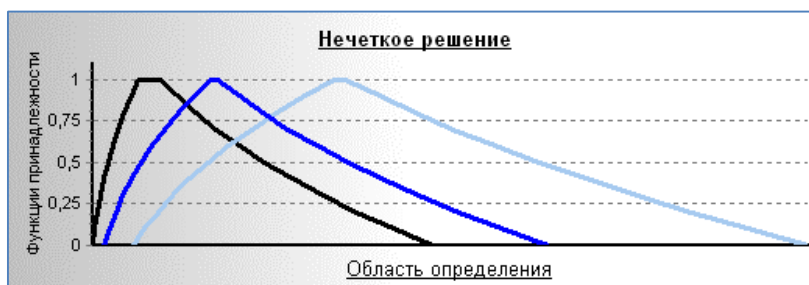


Рис. 7. Итоговые нечеткие оценки уровней совершенства

Сравнение Компаний по уровню совершенства СУБ представлены на рис. 8.



Рис. 8. Сравнение (ранжирование) Компаний

В данном случае:

$$\tilde{D} = \left(\begin{array}{c|c|c} \boxed{0,35} & \boxed{1,00} & 0,57 \\ \hline u_1 & u_2 & u_3 \end{array} \right).$$

На рисунке 9 представлены степени принадлежности каждого из проектов нечетким множествам из \tilde{A} . Элементами построенных нечетких множеств $\tilde{A}_i (i = \overline{1,3})$ являются нечеткие множества (получили нечеткие множества второго уровня).

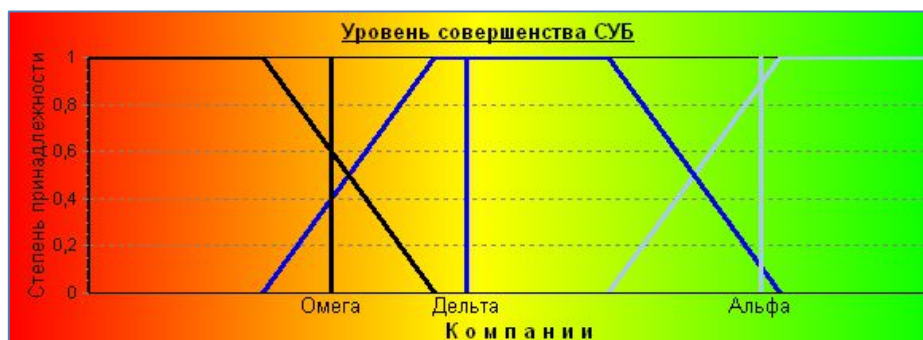


Рис. 9. Уровни совершенства СУБ

Например, для Компании Омега:

$$\tilde{A}_1 = \left(\begin{array}{c|c} 0,6 & 0,4 \\ \hline Н & С \end{array} \right).$$

Т.е. степень принадлежности уровня совершенства СУБ Компании Омега множеству «Начальный уровень совершенства» составляет 0,6, а множеству «Стабильный уровень совершенства» – 0,4.

4. Заключение.

Предложенная концепция использования лингвистических переменных, основанная на применении экспертных нечетких оценках факторов и ключевых областей обеспечения безопасности, позволяет упростить решение проблемы оценки уровня совершенства СУБ судоходных компаний. Разработанная методология позволяет производить многоуровневую свертку лингвистических оценок для получения обобщенного нечеткого показателя уровня совершенства.

Выполненная практическая апробация представленного теоретического и методического материала, позволяет сделать вывод о целесообразности использования разработанной методики, что повысит значимость использования экспертных заключений в виде нечетких чисел, семантически близких высказываниям на естественном языке.

Исходная формализация базы знаний может быть выполнена, например, на основании метода парных сравнений по шкале Саати [5, 6, 8] путем ее приведения к лингвистическим высказываниям.

Перспективные исследования направлены на использование в экспертных системах по обеспечению безопасности мореплавания нечеткого логического вывода и аппарата решения оптимизационных задач на базе мягких вычислений.

Список литературы.

1. Sazonov A.E. Expert system for evaluation of shipping company's SMS perfection level / A.E. Sazonov, V. D. Klimenko, G. S. Osipov, A. A. Zakharov // Information on Ships: International symposium ISIS September 21-22, 2006. – Hamburg, Germany, 2006. – 12 p.
2. Ротштейн А.П. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Известия РАН. Сер. «Теория и системы управления». – 2001. – №3. с.150-154.
3. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и принятия решений. – М.: Мир, 1976.

4. *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. – М.: Наука, 1978.
5. *Саати Т.Л.* Взаимодействие в иерархических системах / Т.Л. Саати // Техническая кибернетика. – 1979. №1. с. 68-84.
6. Сазонов А.Е. Использование метода экспертных отношений предпочтения для оценки уровня совершенства системы управления безопасностью морского судна / А.Е. Сазонов, Г.С. Осипов, В.Д. Клименко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3(19). С. 94-104.
7. *Айзинов С.Д.* Использование теории нечетких множеств для оценки эффективности тренажеров / С.Д. Айзинов, В.Д. Клименко, Г.С. Осипов, А.Е. Сазонов // Эксплуатация морского транспорта. – 2007. – № 2(48). С. 31-32.
8. *Осипов Г.С.* Нечеткий рейтинг акций морских парокходств / Г.С. Осипов, Е.И. Распутина // Эксплуатация морского транспорта. – 2007. – № 2(48). С. 10–13.
9. *Осипов Г.С.* Нечеткая экспертная система оценки уровня безопасности судоходных компаний / Г.С. Осипов, А.Е. Сазонов //European research. 2016. № 3 (14), p. 10-11. DOI: [10.20861/2410-2873-2016-14-002](https://doi.org/10.20861/2410-2873-2016-14-002)
10. *Osipov G. S.* Multi-criteria analysis of systems at fuzzy criteria / G.S. Osipov // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, 2016, № 3-4, pp. 82-84. DOI: [10.20534/AJT-16-3.4-82-84](https://doi.org/10.20534/AJT-16-3.4-82-84)
11. *Крылов А.Н.* Собр. тр. – Т.І. – Ч.І. – М.; Л., 1951. 551 с.
12. *Соломенко Н.С.* Академик Алексей Николаевич Крылов – выдающийся математик, механик и кораблестроитель // Вестник АН СССР. – 1988. – №12. С. 70-79.
13. *Осипов Г.С.* Свертка показателей деятельности судоходных компаний (К 100-летию метода сводных показателей А.Н. Крылова) / Г.С. Осипов // Эксплуатация морского транспорта. – 2007. – № 2. С. 33–36.