

в случае отказа основной системы управления, либо в случае отказа основного органа управления (например, в случае потери руля), так как для управления используется крен самого судна.

Литература

1. Березин С. А. Системы автоматического управления движением судна по курсу/ С. А. Березин, Б. А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. Соболев Г.В. Управляемость корабля и автоматизация судовождения. / Г.В. Соболев – Л.: Судостроение, 1976. – 477 с.
3. Мастушкин Ю.М. Управляемость промысловых судов. – Л.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 232 с.
4. Васильев А.В. Управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
5. Fossen T. I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002 – 570 p.
6. Технические средства судовождения. Том 2. Конструкция и эксплуатация: Учеб. для вузов / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.К. Перфильев и др. – СПб.: Элмор, 2000. – 656 с.
7. Автопилот Минорского. Основы теории автоматического пилотирования и автопилоты: Пер. с английского/ Под ред. Г.В. Щипанова. – М.–Л.: Оборонгиз, 1939. – с. 71 – 87.
8. Тришин Н.В. Формализация и синтез математической модели движения судна с учетом влияния крена / Тришин Н.В. // Эксплуатация морского транспорта.– 2017.– №4 (85).– С. 77-82.

9. Anti heeling system final documentation, Document No.: A-34235-00000-LF. –Hoppe Bordmesstechnik, GmbH, 2009 – 189 p.

References

1. Berezin S. A. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna po kursu/ S. A. Berezin, B. A. Tetyuev. – L.: Sudostroenie, 1990. – 256 s.
2. Sobolev G.V. Upravlyaemost' korablya i avtomatizaciya sudovozhdeniya. / G.V. Sobolev – L.: Sudostroenie, 1976. – 477 s.
3. Mastushkin YU.M. Upravlyaemost' promyslovyh sudov. – L.: Legkaya i pishhevaya promyshlennost', 1981. – 232 s.
4. Vasil'ev A.V. Upravlyaemost' sudov. – L.: Sudostroenie, 1989. – 328 s.
5. Fossen T. I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002 – 570 p.
6. Tekhnicheskie sredstva sudovozhdeniya. Tom 2. Konstrukciya i ekspluataciya: Ucheb. dlya vuzov / E.L. Smirnov, A.V. YAlovenko, V.K. Perfil'ev i dr. – SPb.: Elmor, 2000. – 656 s.
7. Avtopilot Minorskogo. Osnovy teorii avtomaticheskogo pilotirovaniya i avtopiloty: Per. s anglijskogo/ Pod red. G.V. SHCHhipanova. – M.–L.: Oborongiz, 1939. – с. 71 – 87.
8. Trishin N.V. Formalizaciya i sintez matematicheskoy modeli dvizheniya sudna s uchedom vliyaniya krena / Trishin N.V. // Ekspluataciya morskogo transporta.– 2017.– №4 (85).– S. 77-82.
9. Anti heeling system final documentation, Document No.: A-34235-00000-LF. –Hoppe Bordmesstechnik, GmbH, 2009 – 189 p.

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt98/8

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕГМЕНТА МОРСКОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ

А.Н. Попов, кандидат технических наук, доцент

В статье рассматривается возможность расчета вероятности события на основе байесовских сетей доверия. Аппарат байесовских сетей доверия позволяет объединить экспертные и статистические данные при анализе морской эргатической системы. В связи с тем, что ключевым элементом, влияющим на безопасность человеко-машинной системы является судоводитель, автор предлагает посмотреть на проблему «человеческого элемента» с учетом информационного подхода. Постоянный рост информационного обмена между оператором и навигационными данными вынуждает обратить внимание на информационный сегмент человеко-машинной системы. В качестве статистических данных представлены достоверные сведения морской катастрофы в районе порта Новороссийск. Экспертные данные получены в результате реконструкции катастрофы на навигационном тренажере.

Ключевые слова: байесовская сеть, смешанная реальность, информация, E-Навигация, человеко-машинная система, сценарий.

THE ANALYSIS OF THE INFORMATIVE SEGMENT OF MARITIME ERGATIC SYSTEM ON THE BAYESIAN NETWORKS BASIS

A.N. Popov

The article is dedicated to the study of possibility of the event probability on the Bayesian networks basis. The range of Bayesian networks makes it possible to unite both expert and statistics data during the analysis of the

maritime ergatic system. Considering that the key element which influences the safety of the human-machine system is a navigator, the author offers to examine the issue of the human element taking into account the informative approach. The constant growth of the information exchange between the operator and navigation data urges to pay special attention to the informative segment of the human-machine system. The real information about maritime accident in the water area of Novorossiysk Commercial Sea Port is presented as statistics basis. The expert data are obtained as a result of the accident reconstruction on the navigation simulator.

Key words: Bayesian networks, mixed reality, information, e-Navigation, human-machine system, scenario.

Несмотря на достижения в области автоматизации судовождения, до сих пор является актуальной проблема «человеческого элемента», как основной причины высокой аварийности мирового морского флота. Для решения этой проблемы продолжают исследования в области морских эргатических систем. Концепция E-Навигация предполагает использование информационных технологий. В статье рассмотрен математический аппарат байесовских сетей доверия (БСД), как наиболее подходящий в условиях неопределенности с факторами вероятности с учетом информационного подхода.

В соответствии с ГОСТ Р 58771-2019 (Менеджмент риска. Технологии оценки риска), байесовские сети (БС) входят в перечень одобренных методов оценки риска (таблица 1). Байесовские сети используются для моделирования предметных областей, которые характеризуются неопределенностью [1].

Автор предпринял попытку посмотреть на проблему «человеческого элемента» под другим углом, на основе информационного подхода Марра.

Информационный подход Марра является результатом длительного изучения механизмов зрительного восприятия человека. Согласно парадигме Марра, человек-оператор воспринимает и обрабатывает визуальную информацию подобно компьютерной программе, которая включает три основных этапа:

- предобработка изображения и первичная сегментация изображения (первичный эскиз);
- выделение геометрической структуры видимого поля (2,5-мерный эскиз);
- определение относительной структуры и семантики видимой сцены (3-мерный эскиз) [2].

Связанные с этими этапами уровни обработки обычно называются соответственно обработкой нижнего уровня, среднего уровня, высокого уровня. В соответствии с парадигмой Марра,

детальное изучение визуального восприятия информации (навигационных данных) не дает понимания полной картины происходящего, тогда как модель более высокого уровня позволяет связать физиологические данные человека-оператора (судоводителя) воедино. При этом следует отметить все возрастающее проникновение теории информации в психофизику восприятия визуальной информации пользователя морской эргатической системы цифрового типа [3].

Для анализа информационного сегмента морской эргатической системы предлагается использовать математический аппарат БСД, исходными переменными которого, будут статистические и экспертные данные морской катастрофы 31 августа 1986 года.

Столкновение 31 августа 1986 года считается одной из самых известных морских катастроф не только эпохи СССР, но имеет важное значение и сегодня. Как известно, трагедия произошла в районе порта Новороссийск и хорошо изучена специалистами. Однако, до сих пор идут споры об истинных причинах столкновения. Автор в течение нескольких лет проводил занятия по дисциплине «Научные исследования в области безопасности мореплавания» и детально изучил особенности данной катастрофы. Эта дисциплина была введена в учебный процесс НВИМУ по инициативе к.т.н., профессора Ольшамовского С.Б. в 1983 году решением Ученого Совета ВУЗа.

Для определения причины данной катастрофы автор использовал модифицированный вариант реально-виртуального континуума (рисунок 1) на котором были определены зоны (информационные среды) в которых оператор (судоводитель) принимает решение. Причем качество данного решения (правильное или ошибочное) зависит как от характеристик информационного гиперпространства, так и от характеристик оператора (судоводителя), принимающего информацию [4].

Таблица – Технологии и индикативные характеристики

Ссылка	Метод	Описание	Примечание	Масштаб	Временной горизонт	Уровень принятия решений	Необходимость информации / данных	Опыт специалиста	Качеств / количеств.	Применение усилий
Б.8.2	Настолько низкий, насколько это разумно возможно (ALARP), насколько практически приемлемо (SFAIRP)	Критерии допустимости риска для человеческой жизни	Оценка риска	1	Любой	1 / 2	Высокая	Высокий	Количеств.	Высокие
Б.5.2	Байесовский анализ	Способ сделать вывод о параметрах модели с использованием теоремы Байеса, которая имеет возможность включения эмпирических данных в имеющиеся суждения о вероятностях	Анализ вероятности	Любой	Любой	Любой	Средняя	Высокий	Количеств.	Средние
Б.5.3	Байесовские сети	Графическая модель переменных и их причинно-следственных связей, выраженная с помощью вероятностей. Базовая сеть Байеса имеет переменные, представляющие неопределенности. Расширенная версия, известная как диаграмма влияния, включает переменные, представляющие неопределенности, последствия и действия	Идентификация риска. Оценка риска. Выбор между вариантами	Любой	Любой	Любой	Средняя	Высокий	Количеств.	Средние / Высокие
Б.4.2	Метод «галстук – бабочка»	Схематический способ описания путей реализации риска от источника риска до его последствий, а также анализа мер по управлению риском	Анализ контролей. Описание риска	2 / 3	Короткий / средний	Любой	Любой	Низкий / Умеренный	Качеств.	Низкие

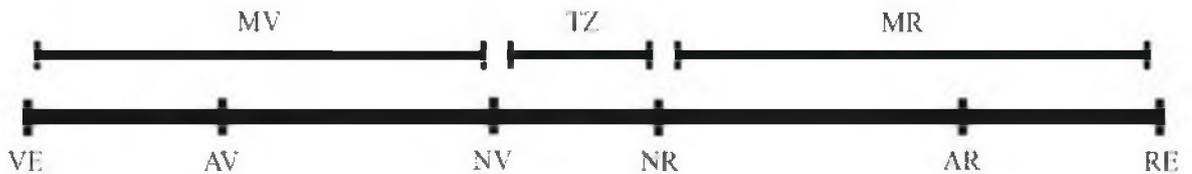


Рисунок 1 – Информационно-онтологический континуум

Информационно-онтологический континуум позволяет уточнить ряд существующих компонентов, а также ввести новые, а именно:

- RE – среда реального окружения, 100% аналоговые данные;
- AR – среда дополненной реальности, например, 80% аналоговых данных и 20% цифровых;
- VE – среда виртуального окружения, 100% цифровые данные;
- AV – среда дополненной виртуальности, например, 20% аналоговых данных и 80% цифровых;
- NV – среда нейтральной виртуальности, 50% цифровых данных и 50% аналоговых;
- NR – среда нейтральной реальности, 50% аналоговых данных и 50% цифровых;
- MR – среда смешанной реальности;
- MV – среда смешанной виртуальности;
- TZ – зона перехода (неопределенности).

По мнению автора наиболее опасной для человека-оператора (судоводителя) является нахождение в зоне неопределенности или пересечение этой зоны, так как с психофизиологической точки зрения судоводитель должен четко понимать в какой информационной среде он находится.

Благодаря использованию навигационного тренажёра «NAVI-TRAINER PROFESSIONAL 5000» становится возможным детальное воспроизведение аварии для получения недостающих данных и получения важной информации для дальнейшего анализа (рисунок 2) [5].

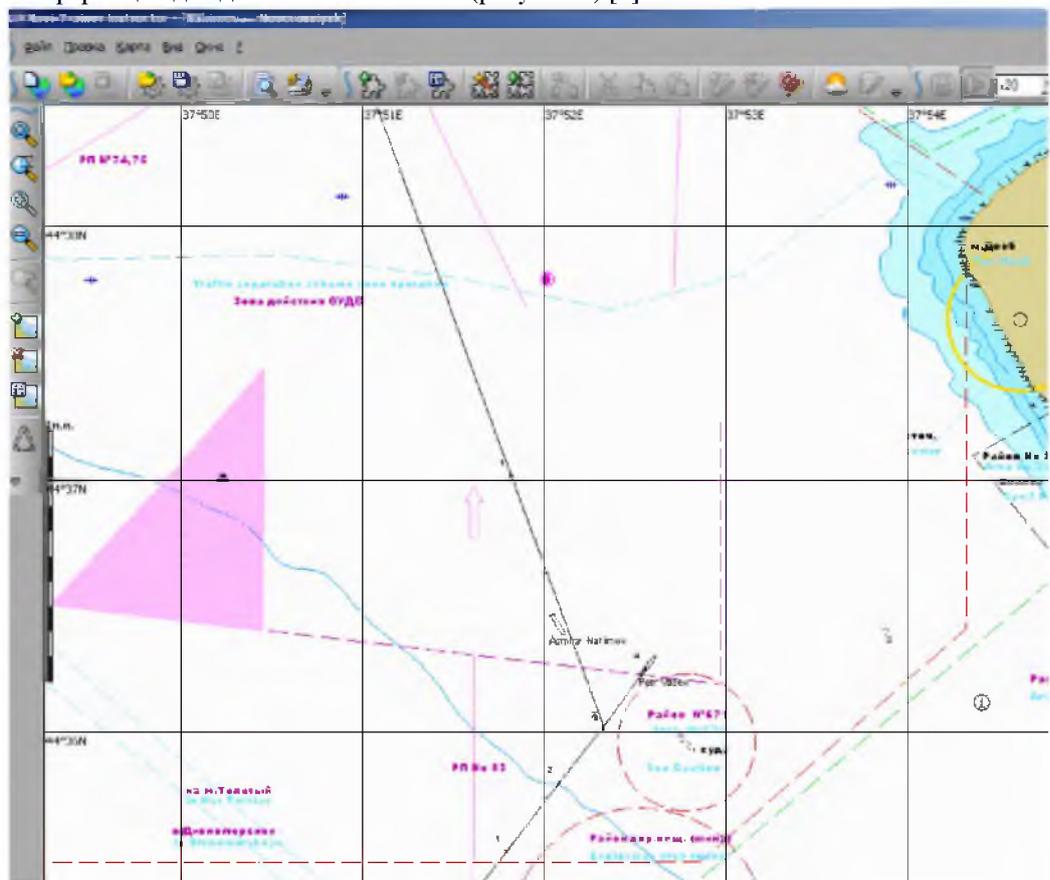


Рисунок 2 – Траектория движения судов (при отсутствии маневров)

В настоящей работе предпринята очередная попытка сформировать предпосылки для формирования нового информационного стандарта, который позволит человеку-оператору (судоводителю, внешний капитан) принимать правильное решение с большей вероятностью. В связи с тем, что согласно информационной теории Марра оператор с вероятностью близкой к 1 принимает правильное решение в случае, когда информация ему понятна (он видит визуальный образ в формате 3D) были проведены эксперименты с привлечением экспертов (судоводители с опытом работы в море более 10 лет), которые оценивали вышеуказанные характеристики согласно методу оценки восприятия, описанного в работе [6].

Автор считает, что первопричиной катастрофы являются условия (информационная среда), в которых оказались судоводители судов «Адмирал Нахимов» (АН) и «Петр Васев» (ПВ). Следовательно, для определения наиболее удобной с точки зрения качества принятия решения информационной среды, нужно рассчитать вероятность принятия ошибочного решения (ПОР) или вероятность принятия правильного решения (ППР) с учетом характеристик гиперпространства и оператора. Для этого предлагается сценарий 1, в котором описана последовательность процедуры принятия решения. Последовательность принятия решения с учетом особенностей информационной среды можно проследить по «дереву событий», а вероятности рассчитать с использованием математического аппарата БСД [7].

Так как детали катастрофы 31 августа 1986 года известны, то предлагается описать последовательные действия обоих судоводителей до этого события с точки зрения информационного подхода в форме сценария 1. С помощью метода БСД в соответствии со сценарием 1 построим вероятностную модель процесса принятия управленческих решений перед катастрофой и рассчитаем полные вероятности ППР и ПОР.

Под сценарием мы понимаем последовательность событий, с некоторой вероятностью следующих друг из друга. В частности, сценарий I заключается в следующем.

Дано:

- характеристики судоводителя АН, где
- TDM (время для принятия решения)3;
- LCL (уровень когнитивной нагрузки) 9;
- LIU (уровень понимания информации) 6.

Дано:

- характеристики судоводителя ПВ, где
- TDM (время для принятия решения)7;
- LCL (уровень когнитивной нагрузки) 5;

- LIU (уровень понимания информации) 6.

Вероятности всех этих характеристик являются экспертными и маргинальными (субъективные вероятности, «родители»).

По схеме (сценарий 1, рисунок 3) следуем снизу вверх. В работе [6] описаны способы оценки соответствующих характеристик гиперпространства и оператора с построением диаграммы.

Согласно классической таксономии гибридной реальности, информационное гиперпространство обладает следующими характеристиками:

- RF (уровень правдоподобия);
- EWK (количество информации о среде);
- EPM (степень погружения).

По мнению автора, следует обратить внимание на тот факт, что несмотря на то, что оба судна (включая судоводителей) находились примерно в одних и тех же географических координатах (температура, давление, видимость и др.) и должны были соблюдать требования МППСС-72 (Правило 5, Наблюдение), на самом деле, с точки зрения восприятия информации (данных), они находились в различной информационной среде [4].

До определения вероятностей ПОР и ППР методом БСД можно предварительно использовать визуальную оценку на примере диаграммы на рисунке 4, построенной по данным в таблице 2.

В соответствии с данными таблицы 2 построены полигоны для каждого информационного параметра в зависимости от критериев и участков информационно-онтологического континуума (рисунок 4).

Из этого следует, что тип информации (рисунок 3), на основании которой принимал решение судоводитель АН:

- 1а аналоговая (формат 3D). См. описание к рисунку 1 (RE – среда реального окружения, 100% аналоговые данные).

Тип информации, на основании которой принимал решение судоводитель АП:

- ШЦ+1а гибридная с приоритетом цифровых данных (формат 2D). См. описание к рисунку 1 (AV – среда дополненной виртуальности, 80% цифровых данных и 20% аналоговых).

Как следствие (рисунок 3) соответствующие характеристики гиперпространства (информационной среды) каждого из судов представлены в соответствующих блоках. Так для судоводителя АН (слева направо) они составили:

- RF (уровень правдоподобия) 9;

- *EWK* (количество информации) 2;
 - *EPM* (степень погружения) 9.
- Для судоводителя судна ПВ получены следующие характеристики:
- *RF* (уровень правдоподобия) 5;
 - *EWK* (количество информации) 9;
 - *EPM* (степень погружения) 5.

Дополнительно определен коэффициент согласованности действий судоводителей, в процессе принятия решения при маневрировании двух судов. Коэффициенты конкордации судоводителей в зависимости от нахождения в соответствующей информационной среде, представлены в таблице 3.



Рисунок 3 – Сценарий 1

Таблица 2 – Оценки экспертов

Среда	RF	EWK	EPM	TDM	LIU	LCL	Балл
VE	4	3	9	6	8	5	8,5
AV	5	9	5	7	6	5	8
NV	4,5	5	7	4	5	4	6
MV	4,5	7	9	6	7	5	8
TZ	1	1	1	1	1	1	1
NR	4,5	8	7,5	5	5	6	8
AR	10	10	10	9	9,5	10	10
RE	9	2	9	3	6	9	9
MR	9,5	7	9,5	7	7	7	9,5

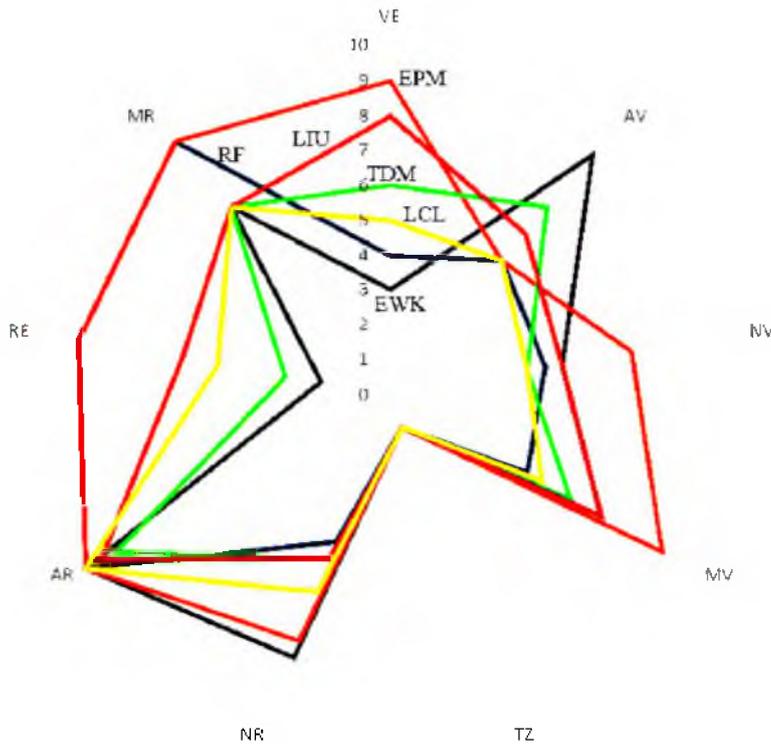


Рисунок 4 – Полигоны

Таблица 3 – Определение коэффициента конкордации

	VE	AV	NV	MV	TZ	NR	AR	RE	MR
VE	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
AV	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
NV	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
MV	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
TZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NR	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5
AR	0	0	0	0	0	0,5	1	0,5	0,5
RE	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1	0,5
MR	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1

По данным таблицы 3 построена диаграмма [6], которая показывает три диапазона степени согласованности действий судоводителей в зависимости от нахождения в соответствующей информационной среде. Значения коэффициентов конкордации определялись в диапазоне от 0 до 1. Коэффициент конкордации, равный 1, соответствует абсолютно одинаковым средам с баллом 9 и выше. Коэффициент конкордации 0,5 соответствует абсолютно одинаковым средам с баллом менее 9 или близким к ним. Коэффициент конкордации равен 0 в случае взаимодействия в абсолютно разных средах, либо в абсолютно одинаковых средах с баллом не выше 1. Информационный стандарт должен соответствовать информационной зоне с баллом 9 и выше и коэффициентом конкордации близким к 1.

Качественный анализ сценария 1 показал высокие риски ПОР обоих судоводителей как во

время сближения, так и на конечном этапе, что привело к столкновению судов.

Метод БСД позволит получить вероятностные оценки ППР и ПОР и дать количественный анализ сценария 1, который позволит автору утверждать, что столкновение было трудно избежать, т.к. полная вероятность ПОР с обеих сторон была достаточно высока. Причем, главной причиной такого исхода является, нахождение судоводителей в совершенно разных условиях как получения информации, так и ее использования для принятия управленческих решений. Кроме того, с помощью БСД можно проверить качество экспертных оценок вероятности информационных параметров обоих операторов (судоводителей) и при необходимости заполнить базу знаний экспертной системы [7].

Построим БСД для сценария 1. В нашем случае БСД двухуровневая. На первом уровне рассмотрим, например, кластер диаграмм для конкордации [8, 9].

Обозначим:

K_1 – совместим (c_1)

– не совместим (c_2)

K_2 – совместима (d_1)

– не совместима (d_2)

Kk – соответствует (e_1)

– не соответствует (e_2)

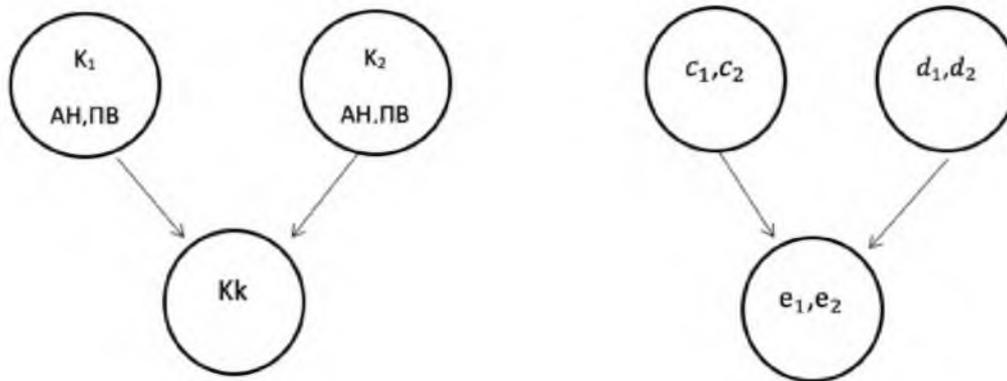


Рисунок 5 – Кластер конкордации

Вершины на диаграмме (рисунок 5) имеют по два состояния: $c_1, c_2 = \bar{c}_1; d_1, d_2 = \bar{d}_1; e_1, e_2 = \bar{e}_1$.

Таблица 4 – Конкордация судоводителей АН и ПВ

K_1 (тип информации) АН-А, ПВ-Ц	Совместимо (c_1) 0,5		Не совместимо (\bar{c}_1) 0,5	
	Совместима (d_1) 0	Не совместима (\bar{d}_1) 1	Совместима (d_1) 0	Не совместима (\bar{d}_1) 1
K_2 (информационная среда) АН-РЕ, ПВ-АВ				
Kk соответствует (e_1)	0,99	0,6	0,6	0,3
Не соответствует (\bar{e}_1)	0,01	0,4	0,4	0,7

Для вычисления полных вероятностей событий: e_1, e_2 применим формулу полной вероятности:

$$P(e_k) = \sum_{i=1}^f \sum_{j=1}^g P(e_k | c_i, d_j) \cdot P(c_i, d_j) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 P(e_k | c_i, d_j) \cdot P(c_i) \cdot P(d_j) \quad (1)$$

Заметим, что в формуле (1) верхние индексы равны числу состояний каждой из вершин на рисунке 5. Кроме того, состояния (события) c_i, d_j – независимые события (маргинальные), поэтому $P(c_i, d_j) = P(c_i) \cdot P(d_j)$.

Формулу (1) легко понять по визуализации диаграммы (рисунок 5) на графе (рисунок 6).

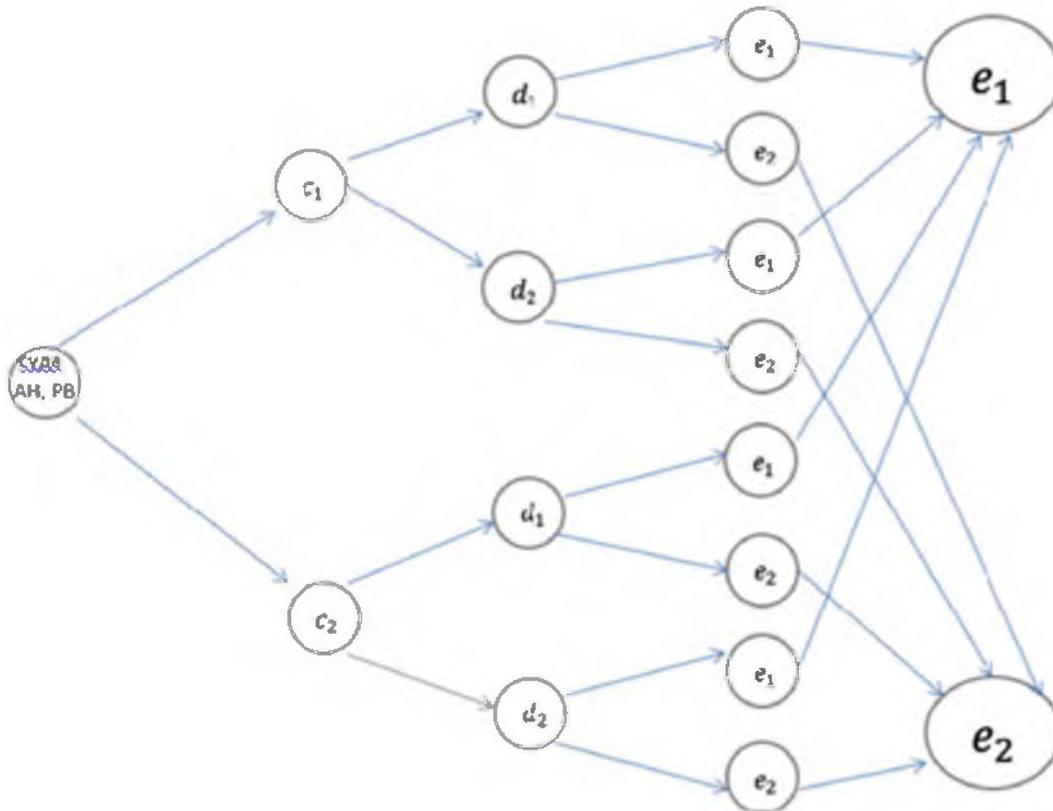


Рисунок 6 – Граф всех состояний для диаграммы на рисунке 5

Очевидно,

$$P(e_1) + P(e_2) = 1. \tag{2}$$

Из (1), например, получим полную вероятность события e_1 ,

$$\begin{aligned} P(e_1) &= \sum_{j=1}^2 P(e_1|c_j, d_j) \cdot P(c_j) \cdot P(d_j) + P(e_1|c_2, d_j) \cdot P(c_2) \cdot P(d_j) = \\ &= P(e_1|c_1, d_1) \cdot P(c_1) \cdot P(d_1) + P(e_1|c_2, d_1) \cdot P(c_2) \cdot P(d_1) + \\ &+ P(e_1|c_1, d_2) \cdot P(c_1) \cdot P(d_2) + P(e_1|c_2, d_2) \cdot P(c_2) \cdot P(d_2) \end{aligned}$$

Вычисления вероятности выше легко прослеживаются, как сумма произведений условных вероятностей комбинаций состояний на путях графа (рисунок 5), заканчивающихся в e_1 . Так как состояния c_j ,

d_j – независимые события (маргинальные), то $P(d_j|c_i) = P(d_j)$ и наоборот, $P(c_i|d_j) = P(c_i)$

. Вероятности $P(e_k)$ не изменятся, если строить граф на рисунке 6, поменяв местами вершины c_i и d_i

, а на рисунке 7 (см. ниже) вершины c_1, d_1 и \bar{c}_1, \bar{d}_1 . Полный визуализированный аналог графа для кластера конкордации на рисунке 6 показан на рисунке 7 ниже. Этот кластер находится на первом уровне

диаграммы БСД (рисунок 8) оценивания ППР и ПОР сближения судов Адмирал Нахимов (АН) и Петр Васёв (ПВ) 31 августа 1986 года, точнее, для параметра конкордации (согласованность принятия решений) Kk (рисунок 5). Вероятность конкордации Kk вычисляется по формулам (1)–(2):

$$\begin{aligned} P(e_1) &= P(e_1|c_1, d_1) \cdot P(c_1) \cdot P(d_1) + P(e_1|\bar{c}_1, d_1) \cdot P(\bar{c}_1) \cdot P(d_1) + \\ &+ P(e_1|c_1, d_2) \cdot P(c_1) \cdot P(d_2) + P(e_1|\bar{c}_1, d_2) \cdot P(\bar{c}_1) \cdot P(d_2), \end{aligned} \tag{3}$$

что нетрудно проследить по комбинациям вершин на соответствующих путях графов на рисунках 6 и 7. входящих в вершину e_1 .

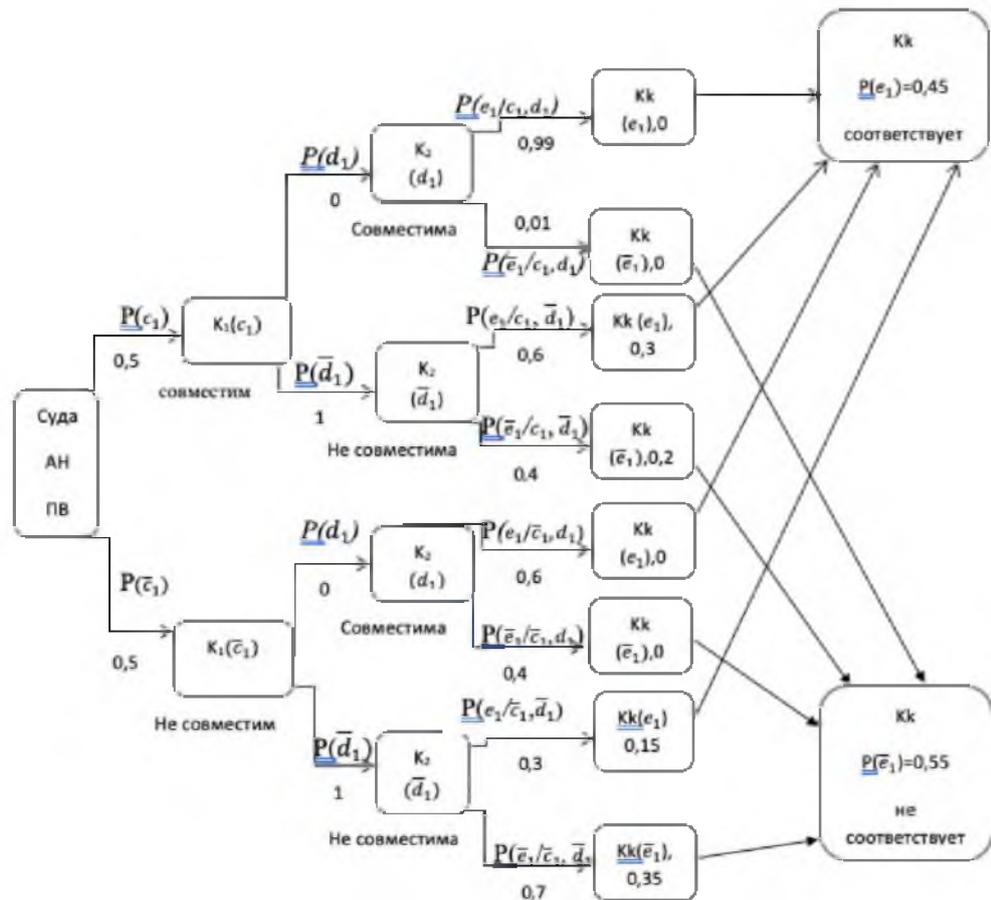


Рисунок 7 – Граф расчета полной вероятности конкорданции

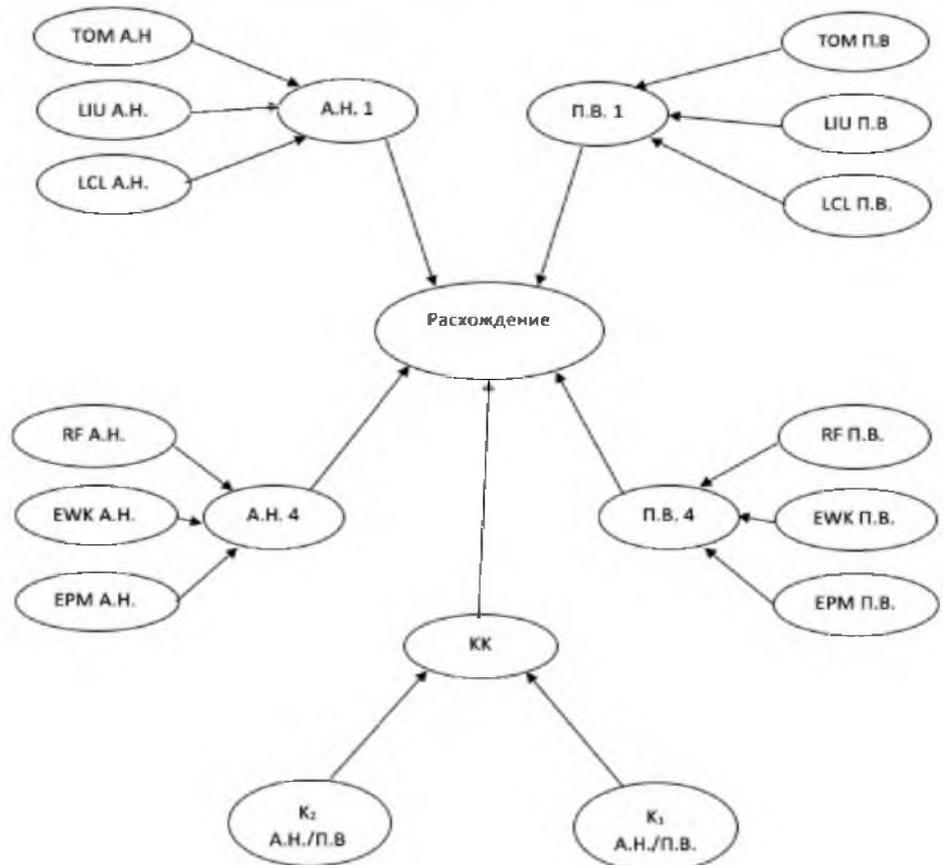


Рисунок 8 – Декомпозиция по группам параметров

Для кластера с тремя независимыми параметрами (четыре подграфа на рисунке 8) формула (1) обобщается по аналогии для вычисления априорных вероятностей (прямой метод) [10, 11]. Точнее,

$$P(e_m) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 P(e_m | a_i, b_j, c_k) \cdot P(a_i, b_j, c_k) \quad (4)$$

где $P(a_i, b_j, c_k) = P(a_i) \cdot P(b_j) \cdot P(c_k)$, так как в нашей задаче состояния a_i, b_j, c_k – независимые («родители»); i, j, k, m имеют по два значения $\{1, 2\}$. Кроме того, обозначим, как и

выше: $a_2 = \bar{a}_1, b_2 = \bar{b}_1, c_2 = \bar{c}_1, e_2 = \bar{e}_1$.

Граф, визуализирующий такой кластер (подграф с тремя параметрами, см. рисунок 8) можно видеть на рисунке 9 (данные в таблице 2). На этом графе легко проследить, как «работает» формула (3) по аналогии с формулами (1)–(2), если в (3) заменить обозначения a_2, b_2, c_2, e_2 на $\bar{a}_1, \bar{b}_1, \bar{c}_1, \bar{e}_1$ соответственно. Заметим, что в чистом виде формулы типа (1), (3) «работают», когда маргинальные (родительские) события образуют полную группу событий, иначе (как в нашей задаче) приходится создавать полные группы для каждого маргинального события в виде пары состояний, т.е. самого события и его отрицания.

Аналогично БСД, построенных выше для кластеров 1 уровня, строятся модели БСД для кластеров 2 уровня (см. рисунок 8). На основе БСД 1 и 2 уровня строится БСД для диаграммы (рисунок 8) в целом. В работе для экономии места эти построения опущены.

Результаты расчета полной вероятности события ППР и ПОР для сценария 1 (прямой вывод) с использованием программного продукта HUGIN представлены ниже на рисунке 10.

Заключение.

В качестве экспертов выступали слушатели курсов подготовки и переподготовки ИПК ГМУ имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (капитаны, лоцманы). В среднем судоводительский стаж работы в море экспертов составил более 10 лет. Оценка (экспертная) произведена по шкале (баллы) от 1 до 10. Соответственно в варианте «эталон» все параметры близки к оценке 10 баллов.

Итак, проведем сравнение по вышеуказанным характеристикам гиперпространства для сценария 1:

$$RF_{АН} = 9; RF_{ПВ} = 5;$$

$$EWK_{АН} = 2; EWK_{ПВ} = 9;$$

$$EPM_{АН} = 9; EPM_{ПВ} = 5.$$

Согласно анализу, выполненному ответственными учеными, коэффициент конкордации (согласованности мнений) судоводителей был близок к 0. Это подтверждает сравнительный анализ основных характеристик (все данные различаются).

Таким образом, если принять в качестве гипотез экспертные оценки вероятностей параметров условий по абсолютным значениям с точки зрения информационного подхода, в которых принимали управленческие решения судоводители судов «Адмирал Нахимов» и «Петр Васев», то прямой вывод с помощью БСД, построенной для сценария 1 показал не приемлемое для безопасности судовождения значение (0,47) полной вероятности ПОР. Поэтому катастрофа, о которой много было сказано выше, не является следствием цепи случайных ошибок судоводителей. Наоборот, проведенные расчеты автора, основанные на информационном подходе подтверждают гипотезу о главных причинах высокой вероятности серии ПОР, т.е. нахождение судоводителей в различных информационных средах [12, 13, 14].

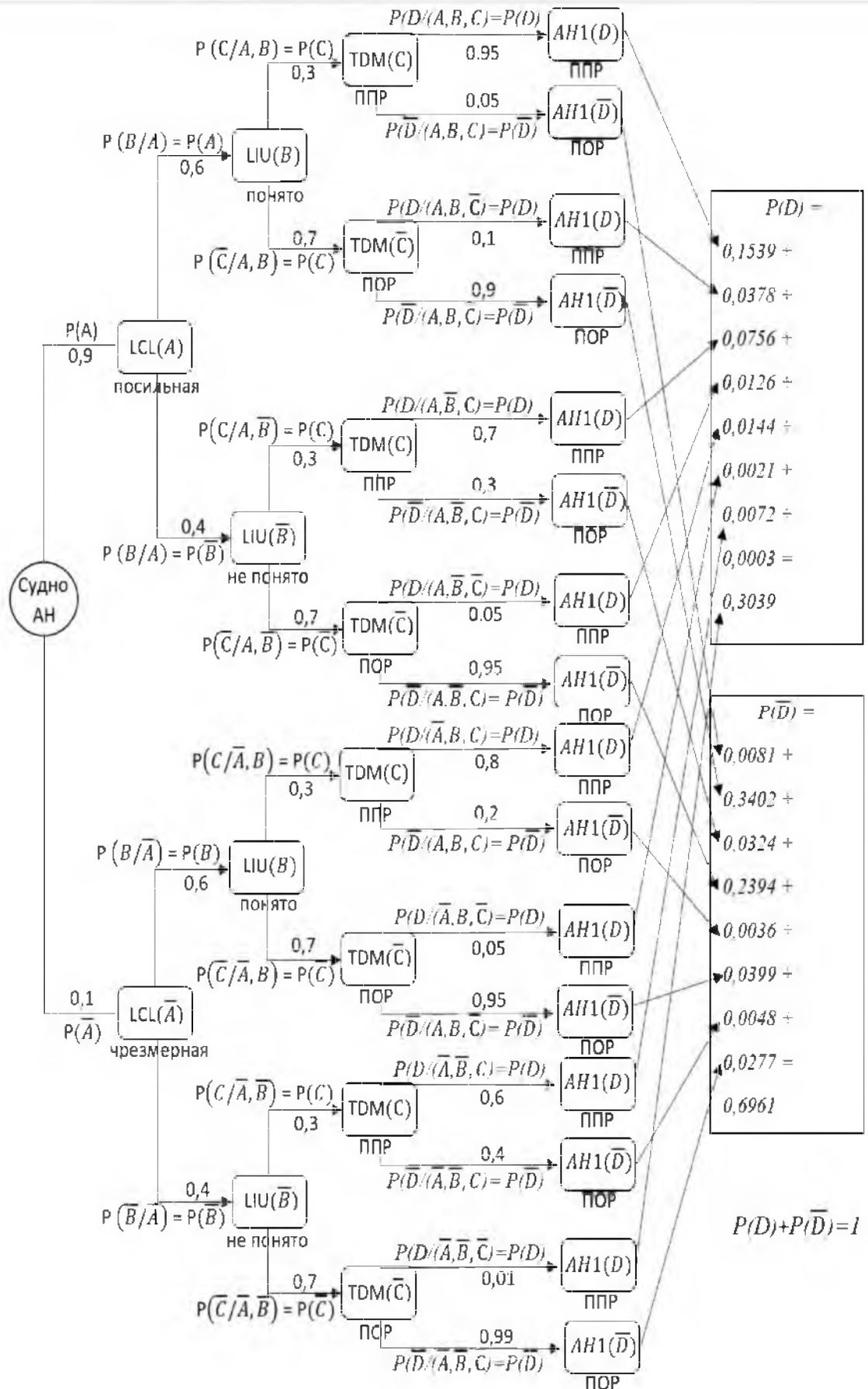


Рисунок 9 – Полный граф для 3-х параметров ($LCL = A, LIU = B, TDM = C$) судна «Адмирал Нахимов»

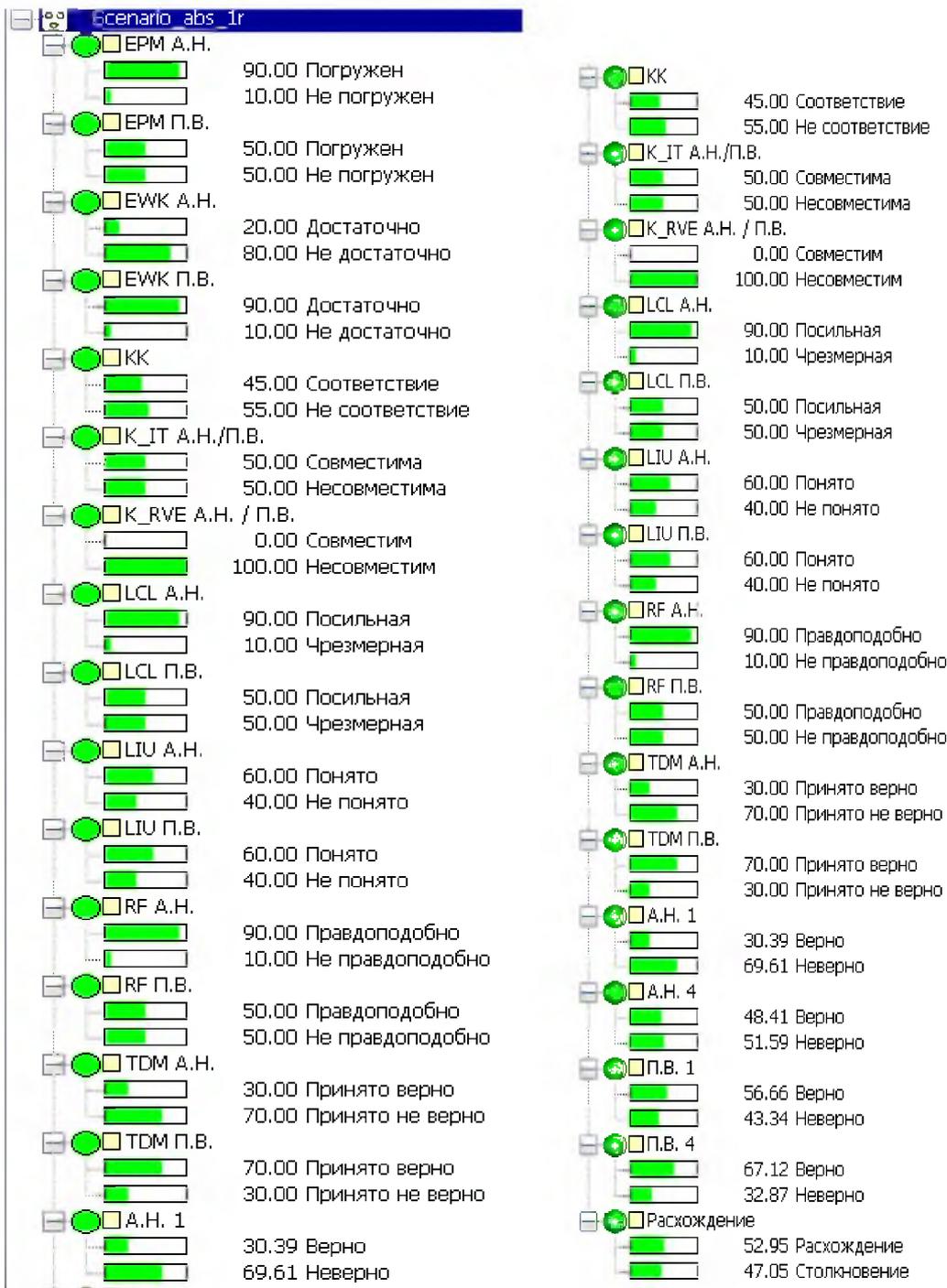


Рисунок 10 – Результаты расчета априорных вероятностей (сценарий 1)

Литература

1. Сироткин А.В. Байесовские сети доверия: дерево сочленений и его вероятностная семантика // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т.1. – СПб.: Наука, 2006.
2. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
3. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л., «Судостроение», 1977. – 224 с.
4. Milgram P. A taxonomy of mixed reality visual display // IEICE Trans. Information systems, vol. E77-D, No. 12, 1994. – P. 1321-1329.
5. Попов А.Н. Анализ аварийности на морском транспорте в процессе принятия решений судоводителями, находящимися в различной информационной среде // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 4 (46). – С. 83-90.
6. Попов, А.Н., Зеленков, Г.А., Бурьлин, Я.В. Формализация информационно-онтологического континуума // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 3(96). – С. 75–80.
7. Золотин А.А. Матрично-векторные уравнения локального апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях: дис. ... канд. физико-математических наук: 05.13.17 / Золотин Андрей Алексеевич. – М.: Санкт-Петербург, 2018. – 208 с.

8. Указ Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (вместе с национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 230 года).
9. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6654/> (дата обращения 26.02.2020).
10. Тулупьев А.Л. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.: Типография «Наука», 2006. – 607 с.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666911 Программный комплекс для визуализации навигационных данных в среде смешанной реальности (ПК ВНДССР-1)/А.Н. Попов – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, 2019.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.
13. Popov A.N. E-Navigation mixed reality interface / E.V. Khekert, A.I. Kondratiev, D.E. Studenikin // 20 th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 1-2 November, Tokyo, Japan, 2019. – P. 40-41.
14. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. – 1998.
15. О средствах ближней навигации для автоматизации процессов проводки и швартовки судов в местах стеснённого маневрирования [Текст] / С.И. Кондратьев, А.П. Липкевич // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006. № 5. С. 34-36.
16. Кондратьев С.И. Синтез программных траекторий методом динамического программирования // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2003. № S6. С. 41-43.
17. Астерин В.В. Принципы координации подсистем судна для предупреждения столкновений [Текст] / В.В. Астерин, Е.В. Хекерт // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова.– 2013.– № 2 (21).– С. 13
5. Popov A.N. Analiz avariynosti na morskome transporte v protsesse prinyatiya resheniy sudovoditelyami, nakhodyashchimisya v razlichnoy informatsionnoy srede // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2019. – № 4 (46). – S. 83-90.
6. Popov, A.N., Zelenkov, G.A., Burylin, Ya.V. Formalizatsiya informatsionno-ontologicheskogo kontinuuma // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2020. – № 3(96). – S. 75–80.
7. Zolotin A.A. Matrichno-vektornyye uravneniya lokal'nogo aposteriornogo vyvoda v algebraicheskikh bayesovskikh setyakh: dis. ... kand. fiziko-matematicheskikh nauk: 05.13.17 / Zolotin Andrey Alekseevich. – M.: Sankt-Peterburg, 2018. – 208 s.
8. Ukaz Prezidenta RF ot 10.10.2019 № 490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiyskoy Federatsii» (vmeste s natsional'noy strategiyey razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 230 goda).
9. Ministerstvo tsifrovogo razvitiya, svyazi i massovyykh kommunikatsiy Rossiyskoy Federatsii. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6654/> (data obrashcheniya 26.02.2020).
10. Tulup'ev A.L. Bayesovskie seti: logiko-veroyatnostnyy podkhod. – SPb.: Tipografiya «Nauka», 2006. – 607 s.
11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2019666911 Programmnnyy kompleks dlya vizualizatsii navigatsionnykh dannykh v srede smeshannoy real'nosti (PK VNDSSR-1) / A.N. Popov – Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM Federal'noy sluzhby po intellektual'noy sobstvennosti, 2019.
12. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostey. 5-e izd., ster. – M.: Vash, shk., 1998. – 576 s.
13. Popov A.N. E-Navigation mixed reality interface / E.V. Khekert, A.I. Kondratiev, D.E. Studenikin // 20 th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 1-2 November, Tokyo, Japan, 2019. – P. 40-41.
14. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. – 1998.
15. O sredstvakh blizhney navigatsii dlya avtomatizatsii processov provodki i shvartovki sudov v mestah stesnyonnogo manevrirovaniya [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, A.P. Lickevich // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskije nauki. 2006. № 5. S. 34-36.
16. Kondrat'ev S.I. Sintez programnykh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskije nauki. 2003. № S6. S. 41-43.
17. Asterin V.V. Principy koordinatsii podsystem sudna dlya preduprezhdeniya stolknovenij [tekst] / V.V. Asterin, E.V. Hekert // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2013. № 2 (21). S. 13

REFERENCES

1. Sirotkin A.V. Bayesovskie seti doveriya: derevo sochleneniy i ego veroyatnostnaya semantika // Trudy SPIIRAN. Vyp. 3, t.1. – SPb.: Nauka, 2006.
2. Marr D. Zrenie. Informatsionnyy podkhod k izucheniyu predstavleniya i obrabotki zritel'nykh obrazov. – M.: Radio i svyaz', 1987. – 400 s.
3. Gubinskiy A.I., Evgrafov V.G. Ergonomicheskoe proektirovanie sudovykh sistem upravleniya. L., «Sudostroenie», 1977. – 224 s.
4. Milgram P. A taxonomy of mixed reality visual display // IEICE Trans. Information systems, vol. E77-D, No. 12, 1994. – P. 1321-1329.
5. Popov A.N. Analiz avariynosti na morskome transporte v protsesse prinyatiya resheniy sudovoditelyami, nakhodyashchimisya v razlichnoy informatsionnoy srede // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2019. – № 4 (46). – S. 83-90.
6. Popov, A.N., Zelenkov, G.A., Burylin, Ya.V. Formalizatsiya informatsionno-ontologicheskogo kontinuuma // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2020. – № 3(96). – S. 75–80.
7. Zolotin A.A. Matrichno-vektornyye uravneniya lokal'nogo aposteriornogo vyvoda v algebraicheskikh bayesovskikh setyakh: dis. ... kand. fiziko-matematicheskikh nauk: 05.13.17 / Zolotin Andrey Alekseevich. – M.: Sankt-Peterburg, 2018. – 208 s.
8. Ukaz Prezidenta RF ot 10.10.2019 № 490 «O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiyskoy Federatsii» (vmeste s natsional'noy strategiyey razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 230 goda).
9. Ministerstvo tsifrovogo razvitiya, svyazi i massovyykh kommunikatsiy Rossiyskoy Federatsii. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6654/> (data obrashcheniya 26.02.2020).
10. Tulup'ev A.L. Bayesovskie seti: logiko-veroyatnostnyy podkhod. – SPb.: Tipografiya «Nauka», 2006. – 607 s.
11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2019666911 Programmnnyy kompleks dlya vizualizatsii navigatsionnykh dannykh v srede smeshannoy real'nosti (PK VNDSSR-1) / A.N. Popov – Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM Federal'noy sluzhby po intellektual'noy sobstvennosti, 2019.
12. Venttsel' E.S. Teoriya veroyatnostey. 5-e izd., ster. – M.: Vash, shk., 1998. – 576 s.
13. Popov A.N. E-Navigation mixed reality interface / E.V. Khekert, A.I. Kondratiev, D.E. Studenikin // 20 th Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Universities (IAMU), 1-2 November, Tokyo, Japan, 2019. – P. 40-41.
14. Pearl, J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. – 1998.
15. O sredstvakh blizhney navigatsii dlya avtomatizatsii processov provodki i shvartovki sudov v mestah stesnyonnogo manevrirovaniya [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, A.P. Lickevich // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskije nauki. 2006. № 5. S. 34-36.
16. Kondrat'ev S.I. Sintez programnykh traektorij metodom dinamicheskogo programmirovaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Tekhnicheskije nauki. 2003. № S6. S. 41-43.
17. Asterin V.V. Principy koordinatsii podsystem sudna dlya preduprezhdeniya stolknovenij [tekst] / V.V. Asterin, E.V. Hekert // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2013. № 2 (21). S. 13