

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ИНТЕРПРЕТАТОР КРИТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ И ИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ В КОРАБЕЛЬНОЙ АСУ НА БАЗЕ УПРЕЖДАЮЩЕГО
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА
КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПРОЦЕССОВ****Л. И. Ковтун, Н. А. Шарков (Санкт-Петербург)**

Эволюция теории управления происходит главным образом в сторону изучения объектов все большей сложности. Продукция судостроения отличается иерархической интеграцией сложно структурированных комплексов машиностроения и обслуживающего персонала (экипажа), функционирующих в условиях нестабильной природной среды, внешних и внутренних возмущающих воздействий, переменной технико-экономической или оперативно-тактической обстановки, а также в условиях корректировки целевых установок руководством отрасли, корпорации или фирмы. Одним из путей повышения эффективности функционирования таких сложных систем является рациональное разделение функций между компьютерными средствами автоматизации и человеком, принимающим управленческие решения (ЛПР). Локальные средства автоматизации на периферийных участках сложных систем, функционирующие по наперед заданным алгоритмам, уже доказали свою возможность полностью заменить человека. Однако именно за человеком-руководителем остаются наиболее важные решения по огромному объему получаемой информации, которая требует осмысления и адаптации к изменяющимся условиям, т.е. координации и корректировки алгоритмов функционирования управляемого объекта. Упреждающие прогнозные оценки развития текущих событий на основе анализа причинно-следственных связей позволяют концентрировать внимание руководства на критических траекториях, а также вырабатывать альтернативные управленческие решения по противодействию опасным последствиям критических событий.

Создание нового поколения автоматизированных систем управления судами и кораблями, морскими объектами и технологическими процессами (на объектах морской техники) включает разработку информационной поддержки командования или руководства в вопросах ситуационного анализа возможных рисков и вариантов принятия решений по их преодолению. Человек не в состоянии на основе простых рассуждений оценить риски, которые, как правило, определяются как вероятности возникновения нежелательных событий. Ответы на подобные вопросы возможны лишь на основе математического численного моделирования различного рода случайных процессов, происходящих на объектах морского назначения. В то же время результаты численного моделирования сложных процессов на корабле требуют дополнительного объяснения для руководства экипажа и раскрытия смысла предлагаемых ЭВМ машинных рекомендаций.

Следует отметить, что указанное направление исследований в зарубежной практике представлено многочисленными публикациями, ежегодными конференциями в старом и новом свете. Например, представляют интерес публикации [1, 2, 3] специалистов стран НАТО в области обеспечения безопасности современных кораблей. На рис. 1 показана схема организации взаимодействия операторов в центральном посту управления (ЦПУ) атомной подводной лодки класса «Вирджиния» в задачах безопасной навигации в надводном положении. В ЦПУ находится боевой расчет от восьми до восемнадцати человек, каждый из которых передает наиболее важную (или критическую) информацию непосредственному руководителю ЦПУ, вахтенному офицеру (ВО) до того, как эта информация достигнет командира корабля. Доклады командиру корабля (КК) осуществляются в устной форме по цепочке от операторов (рулевого, гид-

роакустического, штурманского, оптикоэлектронного, радиосвязного, радиолокационного постов и комплексов управления оружием) через специалистов – руководителей по освещению воздушной, надводной и подводной обстановки (координатора контактов) и далее вахтенного офицера. Командир корабля имеет возможность наблюдать визуально обстановку на мониторах всех постов и рабочих станций, хотя естественные психофизиологические ограничения человека не позволяют эффективно использовать эту возможность.

Важной задачей ВО является обобщение всей точной численной информации от операторов ЦПУ с целью выделения наиболее значимой (или критической, требующей немедленного принятия решения) для доклада командиру корабля. Эта задача связана с ситуационной оценкой всей внешней оперативно-тактической обстановки и внутреннего функционального состояния оружия, вооружения и технических средств корабля. Эта информация не должна быть перегружена деталями и второстепенными фактами, что предполагает предпочтение лингвистически-смысловой и визуально-образной информации по сравнению с числовой, графической или текстовой.

По мнению авторов статьи, эту задачу ВО следует также поручить ЭВМ. На современных кораблях и судах командир корабля оснащен автоматизированным рабочим местом (АРМ КК) в составе корабельной АСУ. Командир должен получать на свое АРМ дополнительно обработанную информацию подобно тому, как это сделано для вахтенного офицера. Эта информация должна быть отфильтрована от всей второстепенной, малозначимой в данный момент, т.е. быть обобщенной и представленной в удобном для восприятия формате.

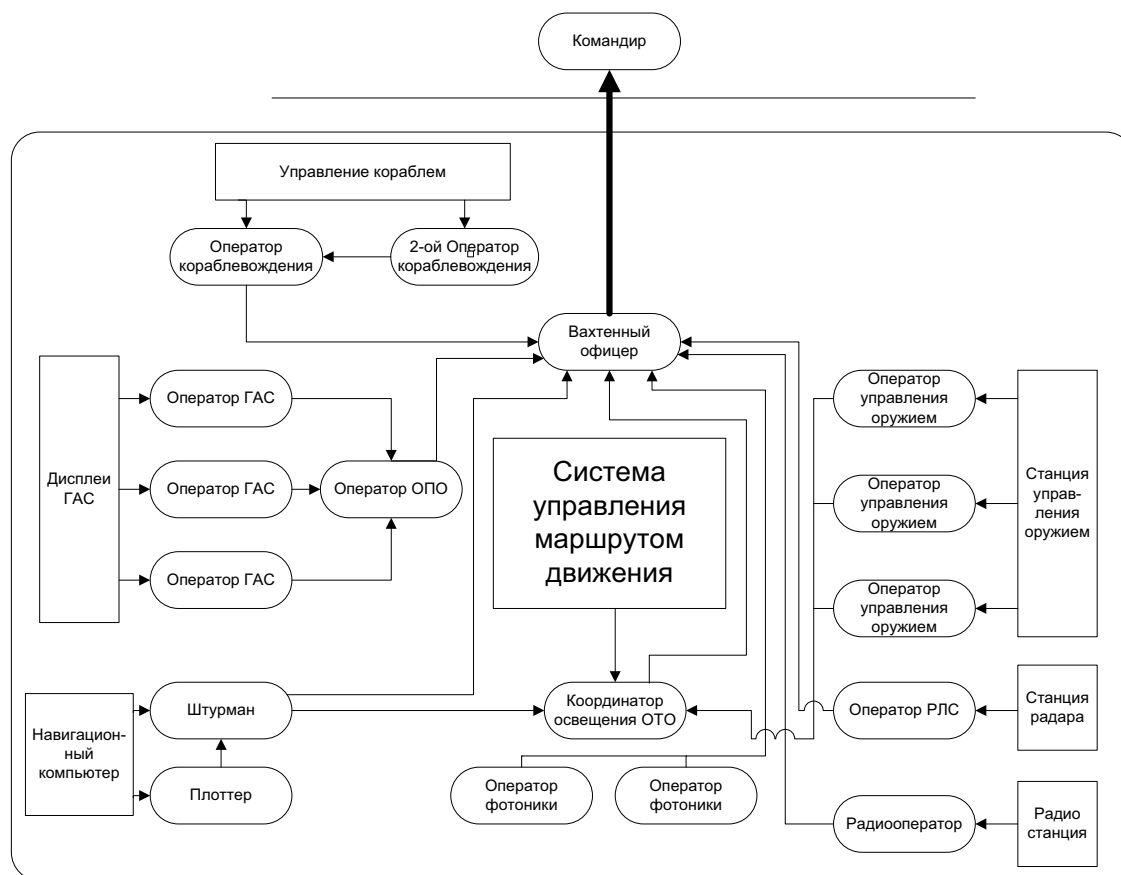


Рис. 1. Организация взаимодействия в структуре боевого расчета ЦПУ по освещению навигационной обстановки в районе надводного плавания (по материалам [1])

С учетом изложенного западные специалисты предлагают интерфейс командирского АРМ наполнить информацией, содержащей следующие элементы: фрагмент электронной карты в районе плавания с отображением проложенного маршрута движения корабля и всех наблюдаемых объектов, их текущего положения, траекторий движения, пересекающихся курсов; упреждающий расчет опасных областей возможных контактов. При этом отмечается необходимость мониторинга динамики и прогнозирования будущих событий для ситуационного анализа обстановки на акватории плавания. Такое предвидение должно базироваться на экстраполяции результатов мониторинга текущих параметров движения собственного корабля и судов участников движения в пределах ближней зоны их взаимодействия. Кроме изложенного АРМ командира должно представлять обобщенную текущую и прогнозную информацию о состоянии оборудования боевых и технических средств, обитаемости, условиях жизнедеятельности и состоянии здоровья экипажа корабля.

В боевых условиях задача обеспечения необходимой информацией АРМ командира сохраняется в принципиальных позициях, а именно, она должна быть наглядной и обозримой. Однако это потребует привлечения существенно больших вычислительных ресурсов корабельной АСУ.

Поясним, на какой методической базе решаются поставленные выше задачи информационного обеспечения руководителей сложных технологических комплексов коммерческого и военного назначения на примере публикации [2]. Авторы предлагают двухуровневую структуру системы противоаварийного управления корабельной техникой реального времени на основе супервизорной модели верхнего уровня, решающей задачу обоснования рекомендаций для командования, и частных имитационно-вычислительных модулей (симуляторов) на нижнем уровне. На рис. 2 представлена соответствующая структура решаемых задач, предлагаемая специалистами военного кораблестроения для ВМС США. Симуляторы определяют точные значения параметров некоторых аварийных процессов (развития пожара, затопления, потери остойчивости, первичных повреждений оборудования и т.п.) в прогнозных задачах упреждающего моделирования и решают задачу динамического пополнения баз знаний (обучения). С учетом результатов работы симуляторов формируются рекомендации для управленческих решений командования.

Симуляторы (термин, редко применяемый в отечественных научно-технических публикациях) – это цифровые вычислительные комплексы, реализующие имитацию непрерывных процессов «здесь и сейчас» в диалоге с ЛПР (или пользователем), который может получать промежуточные результаты вычислений и корректировать постановку вычислительных задач (по принципу: «а что будет, если...»). Симуляторы в режиме диалога реального времени позволяют осуществлять поиск эффективных управленческих решений методом «проб и ошибок» в том случае, если процессы в контуре вычислений более быстродействующие, чем в контуре управления. При этом супервизорный интерфейс АРМ руководителя борьбой за живучесть корабля (или интеллектуальный интерпретатор, по нашей терминологии) преобразует непрерывные процессы изменения контролируемых параметров в дискретные событийные процессы перехода оборудования и систем в состояния кратковременно допустимые, недопустимые и опасные по своим последствиям. Последующий ситуационный анализ логики развития аварии до катастрофы позволяет выделить критические траектории и рекомендации по их недопущению.

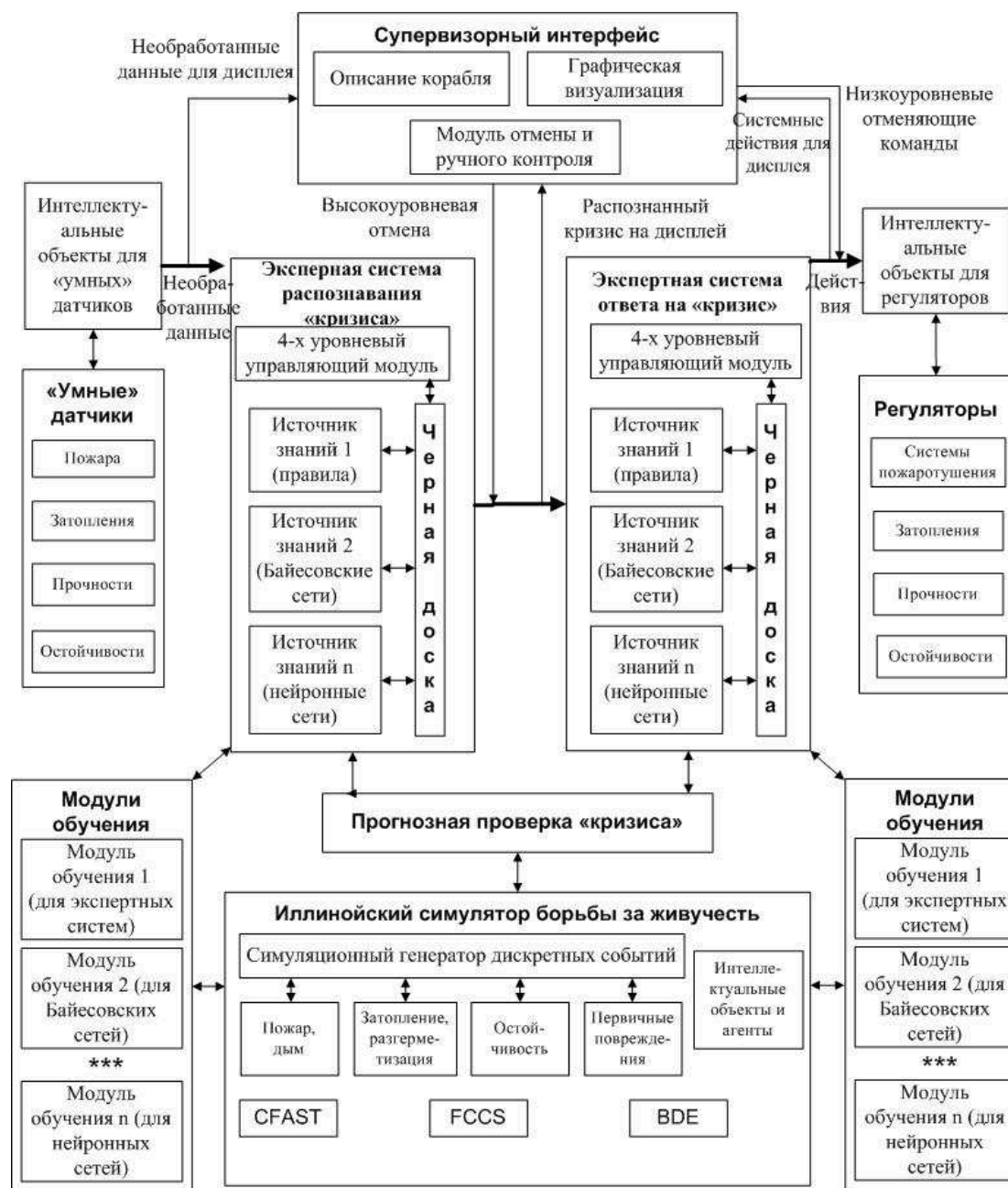


Рис. 2. Функциональная схема решения основных задач системой информационной поддержки процессов борьбы за живучесть, разрабатываемой для кораблей ВМС США

Супервизорный интерфейс представляет собой по существу обобщающую мета-модель, оперирующую базой знаний, которая основана на правилах логического вывода, байесовских и нейронных сетях, которые используют понятия нечетких множеств, нечеткой логики и алгебры суждений. В терминах межгосударственного стандарта [4] он выполняет функции центральной координирующей системы управления боевыми и техническими средствами корабля. Интеллектуальным ядром такой системы информационной поддержки является экспертная система с динамическим пополнением базы знаний, обобщающая результаты вычисляющих симуляторов.

ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова» проводятся научные и экспериментальные исследования с целью повышения уровня автоматизации, надежности, живучести и безопасности кораблей, в том числе с учетом внедрения интегрированных решений

по управлению боевыми и техническими средствами [5–8]. Компьютерные технологии обеспечивают возможность практического использования информации любой степени точности, вследствие чего можно получать значительно более точные модели. Однако процессы управления кораблем требуют от ЛПР (командования) решения задач целеполагания (или целераспределения), т.е. подтверждения, изменения или корректировки текущих целей с учетом их последствий как для выполнения текущей задачи корабля, так и для функционирования старших систем военного назначения. Эти задачи трудно формализуемы, решение их основано на экспертных знаниях и не может быть доверено «автоматам» без участия человека. Таким образом, принятие наиболее ответственных решений остается прерогативой человека. Поэтому важной задачей разработчиков корабельных АСУ является создание пользовательского интерфейса АРМ командования, учитывающего эргономические требования к представляемой информации.

Непосредственно использовать результаты соответствующих статистических расчетов бортовых ЭВМ в режиме реального времени весьма проблематично, если не редуцировать их в обобщенные нечеткие знания экспертов на основе понятий *риска и опасности*. Риск – это численная или качественная оценка потенциальной опасности объекта или процесса. Существует множество определений риска, «рождённых» в различных ситуационных контекстах и с различными особенностями применений. Наиболее распространена точка зрения, что каждый риск в определенном смысле пропорционален как ожидаемым потерям (ранжированным по степени тяжести), которые могут быть причинены неблагоприятным событием, так и вероятности этого события. Для наших исследований сложных организационно-технических систем корабельного назначения будем различать два термина «опасность» и «риск». *Опасность* – это переход системы или оборудования в *состояние* с ограничением части функциональных возможностей или потерей части техники, имущества, здоровья людей, а также неблагоприятным воздействием на окружающую среду или ухудшением экологической безопасности.

Для термина *риск* воспользуемся рекомендациями международных и отечественных стандартов [9–11], которые определяют риск, как сочетание частоты (или вероятности) и тяжести последствий определенного опасного события. Эти стандарты вводят дополнительное ранжирование опасных последствий по категориям тяжести в виде «матрицы рисков» (в 5-бальной шкале относительной опасности). Это положение можно математически описать в понятиях теории нечетких множеств следующим образом.

Пусть $\{U\}$ – универсальное (полное) множество состояний боевых и технических средств (БиТС) корабля;

$\{X1\}$ – подмножество работоспособных состояний (с «0» опасностью);

$\{X2\}$ – подмножество с допустимыми отклонениями (с «min» опасностью);

$\{X3\}$ – подмножество со значительными отклонениями (с «mid» опасностью);

$\{X4\}$ – подмножество с недопустимыми отклонениями (с «max» опасностью);

$\{X5\}$ – подмножество с запредельными отклонениями (с «max max» опасностью).

Тогда нечеткое множество $X_n = \{(\mu_{X_n}^*(X_i), X_i)\}$, $\forall X_i \in \{U\}$ описывается совокупностью пар $\mu_{X_n}^*(X_i)$ и X_i , где $\mu_{X_n}^*(X_i)$ – степень принадлежности X_i множеству X_n , которая определена на отрезке $[0,1]$ (как степень опасности по тяжести последствий) [12, 13].

Таким образом, риски конечного множества опасных состояний корабля оцениваются с помощью нормированной величины на отрезке $[0,1]$, которая ранжирует опасность по степени тяжести. Кроме того риски оцениваются также величиной вероятности возникновения указанных опасных состояний объектов во временной области ана-

лизируемых процессов. Для построения функций принадлежности используются знания экспертов, а для построения вероятностных функций должны использоваться измерения и их статистическая обработка на реальных кораблях или на имитационных моделях (симуляторах) корабельных тренажеров. В настоящее время специалистами ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова» разработана программа для ЭВМ [14].

В зарубежном и отечественном кораблестроении наблюдается тенденция внедрения интегрированных средств автоматизации с целью повышения качества управления и снижения затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию. Первую цель планируется достичь за счет повышения интеллектуальности в задачах управления, а вторую – за счет унификации аппаратно-программных решений.

Интегрированная автоматизированная система управления перспективным кораблем (ИАСУК) будет включать три взаимосвязанные сетевые структуры: *сенсорную, центральную координирующую и боевую исполнительную*. Основной объем решаемых задач ИАСУК представлен на рис. 3.

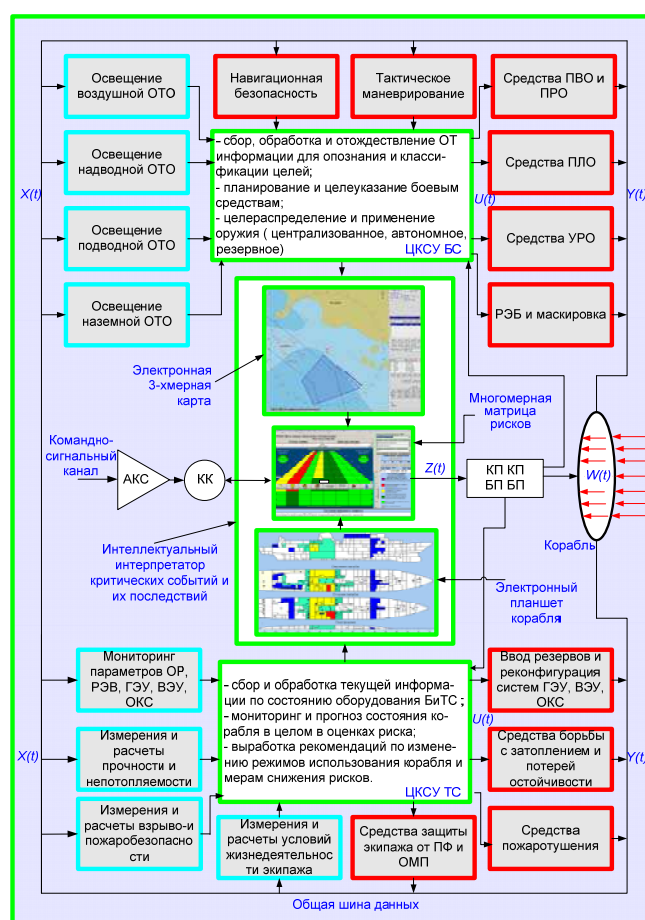


Рис. 3. Основной объем решаемых задач ИАСУК:

ОТО – оперативно-тактическая обстановка; ПВО – противовоздушная оборона;

ПРО – противоракетная оборона; ПЛО – противолодочная оборона; УРО – управление ракетным оружием; РЭБ – радиоэлектронная борьба; ЦКСУ – центральная координирующая система управления; КК – командир корабля; АКС – автоматизированный комплекс связи; КП – командный пункт; БП – боевой пост; ОР – оружие; РЭВ – радиоэлектронное вооружение; ГЭУ – главная энергетическая установка; ВЭУ – вспомогательная энергетическая установка; ОКС – общекорабельные системы; ПФ – поражающий фактор; ОМП – оружие массового поражения

На рисунке голубым цветом выделены задачи, решаемые сенсорной сетевой структурой, зеленым цветом – задачи, решаемые центральной координирующей сетевой структурой, и красным цветом – задачи боевой исполнительной структуры.

$X(t)$ – множество независимых измеряемых (или рассчитываемых) переменных, характеризующих внешнюю оперативно-тактическую и внутреннюю обстановку на корабле;

$Y(t)$ – множество управляемых переменных, характеризующих изменение состояния корабля и его боевых и технических средств;

$U(t)$ – множество управляющих воздействий на комплексы оружия и технических средств от аппаратуры центральной координирующей структуры (ЦКСУ БС и ЦКСУ ТС), а также на локальные автоматические регуляторы;

$Z(t)$ – множество корректирующих воздействий со стороны лиц командного состава, имеющих приоритет на принятие решений в соответствии с должностными обязанностями, в том числе по отношению к рекомендациям управляющих вычислительных систем.

Новое качество уровню информационной поддержки командования корабля будет давать «интеллектуальный интерпретатор критических событий и их последствий» в части концентрации внимания командира на важнейших направлениях принимаемых решений, а также при объяснении смысла машинных рекомендаций [15–17]. Функционирование «интеллектуального интерпретатора» основано на упреждающем имитационном моделировании и ситуационном анализе контролируемых процессов ИАСУК. Интерфейс интеллектуального интерпретатора для АРМ КК должен содержать:

- электронную трехмерную карту акватории плавания с отображением оперативно-тактической обстановки;
- электронный планшет корабля, отражающий состояние боевых и технических средств;
- многомерную матрицу рисков при использовании корабля по назначению в прошлом, текущем и ближнесрочном прогнозном интервалах времени.

В математической трактовке многомерная матрица рисков представляется многослойным графом некоторого списка объектов корабля, отражающим их иерархическую структурную организацию и изменение состояний во времени [7, 8].

Заключение

Обеспечение эффективного использования возможностей человека-руководителя в таких сложных системах, как военный корабль, – научная проблема современного постиндустриального общества, важная также для управления сложными технологическими комплексами гражданского назначения. Наиболее перспективным направлением этих исследований является разработка интеллектуальной надстройки в традиционных АСУ (супервизора, по терминологии западных специалистов). Такой супервизор интерпретирует для человека-руководителя численные результаты упреждающего имитационного моделирования контролируемых процессов в ситуационные оценки ожидаемых причинно-связанных событий, т.е. обеспечивает ЛПР ситуационным анализом или ментальной моделью (по англоязычной терминологии). Это направление исследований по «человеко-машинной» интеграции (Human-System Integration) предполагает использование теории нечеткого моделирования, нечеткой логики и нейронных сетей. Человеко-машинный интерфейс в таких системах должен учитывать эргономические требования. Диалог должен вестись на профессионально-ориентированном подмножестве естественного языка с помощью лингвистических переменных, алгебры суждений и аудиовизуальных анимированных образов.

Литература

1. **Carrigan Geoffrey P.** The Design of an Intelligent Decision Support Tool for Submarine Commanders, 2009 (<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/53219>).
2. **Wilkins David C., Sniezec Janet A.** The DC-SCS Supervisory Control System for Ship Damage Control, Beckman institute, 2000 (www.beckman.illinois.edu).
3. **Cosby Lloyd, Lamontage Yvan.** Critical Assessment of Damage Control System Technologies, Defence Research and Development Canada, 2006 (<http://pubs.drdc.gc.ca/PDFS/unc63/p527467.pdf>).
4. ГОСТ РВ 19176-85. Системы управления техническими средствами корабля. Термины и определения.
5. **Ковтун Л. И.** Прогнозирование рисков и мер их снижения в задачах корабельных АСУ на основе теории нечеткого моделирования и точных расчетов параметров аварийных процессов // Сборник докладов научно-технической конференции концерна «Моринформсистема-Агат». М., 2011.
6. **Ковтун Л. И., Шарков Н. А.** Методы обобщения и интерфейсы представления информации на автоматизированное рабочее место командира в задачах безопасного кораблевождения при авариях // Судостроение. 2008. № 5.
7. **Ковтун Л. И.** Супервизорная система автоматизированного управления иерархически структурированными организационно-техническими комплексами морской техники с использованием имитационно-вычислительных симуляторов // СПб.: Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010, №54 (338).
8. **Шарков Н. А.** Анализ и синтез иерархически-интегрированных человеко-машинных комплексов управления морской техникой в аварийных условиях на базе интеллектуальных технологий // СПб.: Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2010, №54 (338).
9. МС МЭК 60812. Техника анализа безотказности систем – анализ видов и последствий отказов.
10. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
11. ГОСТ 27.310-95. Надежность техники. Анализ видов, последствий и критичности отказов.
12. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 100 с.
13. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.
14. Мониторинг, упреждающее моделирование и ситуационный анализ аварийных процессов и мер противодействия для систем автоматизированного управления сложными комплексами машиностроения морской техники. Программа для ЭВМ, получившая государственную регистрацию №2010613335 от 20 мая 2010 г.
15. ГОСТ РВ 1900-003-2008. Корабельные функциональные комплексы и автоматизированные системы управления. Типовой состав эргономических характеристик.
16. ГОСТ РВ 1900-004-2008. Организация взаимодействия корабельных специалистов с вычислительной техникой. Общие эргономические требования.
17. Проект ГОСТ РВ 0029. Системы поддержки деятельности оператора образца военной техники. Общие эргономические требования, 2005.