

29. Ulyanov S., Bychkov I., Maksimkin N. Event-Based Path-Planning and Path-Following in Unknown Environments for Underactuated Autonomous Underwater Vehicles, *Applied Sciences*, 2020, Vol. 10, No. 21, pp. 7894.
30. Davydov A., Larionov A., Nagul N. The construction of controllable sublanguage of specification for DES via PCFs based inference, *Proc. of the 2nd International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments, ICCS-DE 2020, Irkutsk, Russia, July 6-7, 2020: CEUR-WS Proceedings*, 2020, Vol. 2638, pp. 68-78.
31. Davydov A.V., Nagul N.V., Larionov A.A. Ob obrabotke sobytiy v fopmal'nom logicheskom podxode k upravleniyu dickpetno-cobytiynymi cistemami [On event processing in a formal logical approach to the management of discrete event systems], *Vychislitel'nye tekhnologii [Computational Technologies]*, 2022, Vol. 27, No. 5, pp. 89-100.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Б. Барахнин.

**Бычков Игорь Вячеславович** – Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова Сибирского отделения РАН; e-mail: idstu@icc.ru; г. Иркутск, Россия; тел.: 83952427100; академик; директор.

**Давыдов Артем Васильевич** – e-mail: artem@icc.ru; тел.: 83952453085; научный сотрудник.

**Кензин Максим Юрьевич** – e-mail: gorthauers@gmail.com; тел.: 83952453085; научный сотрудник.

**Нагул Надежда Владимировна** – e-mail: sapling@icc.ru; тел.: 83952453085; к.ф.-м.н.; с.н.с.

**Толстикхин Антон Артемович** – e-mail: madstayler93@gmail.com; тел.: 83952453085; м.н.с.

**Bychkov Igor Vyacheslavovich** – Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: idstu@icc.ru; Irkutsk, Russia; phone: +73952427100; academician; director.

**Davydov Artem Vasilievich** – e-mail: artem@icc.ru; phone: +73952453085; researcher.

**Kenzin Maxim Yurievich** – e-mail: gorthauers@gmail.com; phone: +73952453085; researcher.

**Nagul Nadezhda Vladimirovna** – e-mail: sapling@icc.ru; phone: +73952453085; senior researcher.

**Tolstikhin Anton Artemovich** – e-mail: madstayler93@gmail.com; phone: +73952453085; junior researcher.

УДК 614.842.47

DOI 10.18522/2311-3103-2023-1-184-197

**И.В. Образцов, В.П. Шкодырев**

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ (ОБЗОР)\***

*Информации о пожароопасных ситуациях, циркулирующей в контурах перечисленных систем и уровня технологий искусственного интеллекта, вполне достаточно, чтобы разработать научно-методический аппарат обнаружения пожароопасных ситуаций в корабельных помещениях, определения места их возникновения и факторов пожара, прогнозирования развития пожароопасной ситуации и разработать комплекс технологических решений с применением искусственного интеллекта для получения обоснованных рекомендаций по локализации и тушению пожаров на кораблях ВМФ. Это позволит значительно сократить время*

\* Работа выполняется в рамках научно-исследовательской работы «Поиск и исследование методов и технологий искусственного интеллекта для применения в системах обеспечения пожарной безопасности кораблей», включенная в научный план ВС РФ на 2023 год и плановый 2024 и 2025 года.

обнаружения источников возгорания, дать достоверную информацию о пожароопасной обстановке, спрогнозировать развитие пожара в корабельных помещениях и оперативно организовать борьбу с корабельным пожаром до возникновения критических пожароопасных факторов и ущерба кораблю, здоровью и жизни личного состава. Технологии искусственного интеллекта являются эффективным средством решения сложных плохо формализуемых задач. К этому классу традиционно относятся задачи классификации, кластеризации, аппроксимации многомерных отображений, прогнозирования временных рядов, нелинейной фильтрации, управления сложными технологическими объектами. Анализ пожарной опасности технологических процессов, работы корабельных систем и технических средств показал, что одним из наиболее перспективных путей разрешения системного противоречия в обеспечении пожарной безопасности является использование технологий искусственного интеллекта. Необходимость разработки интеллектуальных систем обеспечения живучести на кораблях ВМФ обусловлена необходимостью повышения эффективности руководства при борьбе за живучесть в ряде аварий и катастроф. Описаны примеры влияния различных факторов на ведение борьбы за живучесть при возникновении аварий. Определена роль интеллектуальных систем обеспечения живучести в составе систем кораблей и судов. Обоснована необходимость внедрения таких систем. Разрабатываемые в настоящее время интеллектуальные системы обеспечения живучести на кораблях ВМФ призваны оказывать помощь командному составу кораблей и судов в своевременности и обоснованности принятия решений, что позволит повысить эффективность борьбы за живучесть.

*Пожарная безопасность; борьба за живучесть; корабли ВМФ; интеллектуальная система живучести; расписывание образов; искусственные нейронные сети; искусственный интеллект; база данных; база знаний; интеллектуальная поддержка принятия решения.*

**I.V. Obratsov, V.P. Shkodyrev**

#### **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT SURVIVABILITY SYSTEM (REVIEW)**

*Information about fire-hazardous situations circulating in the circuits of the listed systems and the level of artificial intelligence technologies is quite enough to develop a scientific and methodological apparatus for detecting fire-hazardous situations in ship premises, determining the location of their occurrence and fire factors, predicting the development of a fire-hazardous situation and developing a set of technological solutions using artificial intelligence to obtain sound recommendations on localization and extinguishing fires on Navy ships. This will significantly reduce the time for detecting sources of ignition, provide reliable information about the fire-hazardous situation, predict the development of a fire in the ship's premises and promptly organize the fight against a ship's fire before the occurrence of critical fire-hazardous factors and damage to the ship, the health and life of personnel. Artificial intelligence technologies are an effective means of solving complex poorly formalized tasks. This class traditionally includes the tasks of classification, clustering, approximation of multidimensional maps, time series forecasting, non-linear filtering, and management of complex technological objects. The analysis of the fire hazard of technological processes, the operation of ship systems and technical means has shown that one of the most promising ways to resolve the systemic contradiction in ensuring fire safety is the use of artificial intelligence technologies. The need to develop intelligent survivability systems on Navy ships is due to the need to improve the effectiveness of leadership in the fight for survivability in a number of accidents and catastrophes. Examples of the influence of various factors on the conduct of the struggle for survivability in the event of accidents are described. The role of intelligent survivability systems in the systems of ships and vessels is determined. The necessity of implementing such systems is justified. The intelligent survivability systems currently being developed on Navy ships are designed to assist the command staff of ships and vessels in the timeliness and validity of decision-making, which will increase the effectiveness of the fight for survivability.*

*Fire safety; the struggle for survivability; Navy ships; intelligent survivability system; Schedule images artificial neural networks; artificial intelligence; database; knowledge base; Intelligent decision support.*

**Введение.** Борьба за живучесть корабля начинается сразу после возникновения аварии, которые могут носить как боевой, так и эксплуатационный характер. Однако, эффективность действий экипажа (аварийной партии) может быть снижена из-за недостатка или полного отсутствия объективной информации о повреждениях, о состоянии помещений и отсеков, его технических средств и т.п. Одновременно с этим, при наличии неполной и противоречивой информации об аварии, личном составе, технических средств и др. бороться за живучесть приходится в условиях дефицита времени на принятие решений и их реализацию. Решением этого противоречия может быть применение систем информационной поддержки для обеспечения живучести корабля – интеллектуальной системы обеспечения живучести корабля ВМФ (ИСОЖ).

**Постановка задачи.** Основная задача, возлагаемая на системы информационной поддержки – обеспечить лицо, принимающее решение (ЛПР), информацией, объем и форма представления которой позволяют ему в экстремальных условиях оперативно и обоснованно принимать оптимальные решения по управлению техническими средствами (ТС) и действиям личного состава экипажей при борьбе за живучесть корабля при различных авариях, включая автоматическое формирование рекомендаций с учетом текущего фактического состояния ТС, реального протекания аварийной ситуации и прогноза ее развития.

Системы информационной поддержки борьбы за живучесть (СИП БЖ) корабля ВМФ предназначены для автоматизированной выработки рекомендаций и представления информации в интересах обеспечения безаварийной эксплуатации корабля и судна ВМФ, а также принятия рациональных, оптимальных и эффективных решений руководителем борьбы за живучесть [1].

Рассмотрение основных задач, выполняемых современными СИП БЖ, позволяет сделать следующие выводы [2–3]:

1. Несмотря на постоянное совершенствование архитектуры, конструкции, приборного оборудования кораблей уровень аварийности продолжает оставаться значительным, устойчиво сохраняются тенденции возрастания материальных потерь от аварий и гибель личного состава.

2. Как показывает анализ, неблагоприятное развитие абсолютного большинства аварийных ситуаций происходит из-за ошибок людей. Психологические возможности персонала, в первую очередь, руководителей в условиях аварийной ситуации не позволяют им в полном объеме реализовывать имеющийся на корабле организационный и технический потенциал. Потери от аварий зачастую существенно превосходят ожидаемые результаты.

3. Противоречивость сложившегося положения состоит в том, что совершенствование архитектурно-конструктивных элементов корабля и функциональных характеристик оборудования одновременно сопровождается, естественно, их усложнением. Возросла плотность размещения оборудования на корабле. Более разветвленными стали сети потоков энергии и рабочих сред. При возникновении аварийных ситуаций, как правило, одновременно выходит из строя значительное количество механизмов и устройств.

4. Именно в этих сложных эксплуатационных условиях внедрение современных средств класса АСППР (автоматизированные системы поддержки принятия решений), предназначенных для информационной, аналитической и интеллектуальной поддержки лиц, обосновывающих и принимающих решения на современных кораблях, как сложных арготических комплексах, позволит снизить критичность влияния «человеческого фактора» на результативность и эффективность управления борьбой за живучесть корабля.

ИСОЖ предназначена для обеспечения автоматизированной выработки и представления ЛПР в режиме реального времени интеллектуальной поддержки (ИП) в интересах комплексного обеспечения безаварийной эксплуатации объекта

установки, принятия рациональных решений при возникновении потенциально опасных, нештатных ситуаций, а также при осуществлении руководства борьбы за живучесть.

Основные функции ИСОЖ:

- ◆ повышение ситуационной информированности ЛПП;
- ◆ сокращение времени принятия решений руководящим должностным лицом в любой обстановке (ситуации);
- ◆ оценка (анализ) возникшей нештатной/аварийной ситуации (АС);
- ◆ выработка и своевременное предоставление ЛПП информационной поддержки в целях обеспечения принятия эффективных решений и контроля за их исполнением в условиях возникновения нештатной ситуации и АС, в том числе, и при осуществлении руководства борьбы за живучесть (БЖ);
- ◆ определение (прогнозирование) влияния последствий выполнения рекомендованных или самостоятельно осуществляемых действий по локализации и ликвидации повреждений (АС) на дальнейшее использование аварийного объекта и его систем, комплексов, механизмов и отдельных ТС, а также на условия перевозимых грузов и состояние здоровья л/с и привлекаемых (перевозимых) лиц;
- ◆ осуществление анализа взаимозависимых параметров различных корабельных систем и ТС для выявления негативного влияния режимов функционирования одних групп оборудования на рабочие процессы в других системах и др.

Для оценки состояния корабля и динамики развития аварии целесообразно применять математическое и программное обеспечение обработки исходной и текущей информации необходимо. Это обеспечение должно быть специфичным для каждого типа аварий (затопление, пожар, взрыв и т.д.), так как в противном случае ИСОЖ не сможет выработать конкретных предложений, а ограничится лишь набором общих рекомендаций, которые не будут иметь практической пользы для повышения эффективности борьбы за живучесть. Разработка такого обеспечения потребует глубокого изучения и понимания основных процессов, происходящих во время аварии, создания их математических моделей, способных к адаптации в зависимости от объема исходных и текущих данных (мониторинга). Более того, программное обеспечение и заложенные в него алгоритмы и модели должны обладать способностью не только оценивать, но и прогнозировать развитие аварии, последствия действий экипажа, а также состояние жизненно важных механизмов и систем корабля.

В настоящее время на всех современных кораблях ВМФ используется интеллектуальная поддержка (в случае поступления воды или возникновения пожара или аварии ТС). В ходе их создания был реализован новый подход аппаратного мониторинга при пожаре, который позволяет контролировать не только традиционные параметры газо-воздушной среды (ГВС) отсеков и помещений корабля (наличие пламени, повышенной температуры, изменение концентрации газов CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> и других), но и упомянутый ранее – давление и скорость его изменения во времени.

Разработчики новой ИСОЖ исходят из того, что математическое моделирование развития пожара должно базироваться только на тех исходных параметрах, которые могут быть измерены или идентифицированы в аварийном отсеке (помещении) корабля, моделей оценки (возможных сценариев) развития пожара должно быть несколько, а конкретный сценарий выбирается автоматически. При этом чем подробнее исходные данные об аварии, полученные при аппаратном мониторинге помещений, либо от членов экипажа корабля, тем более детальный и обоснованный сценарий развития событий должен быть использован. Учитывая сложность и непредсказуемость корабельного пожара, необходимо, чтобы систематическая

ошибка оценки конкретной ситуации при ее моделировании гарантированно исключала негативное воздействие на предлагаемые рекомендации и решения по борьбе за живучесть.

С учетом вышеизложенных обстоятельств были разработаны математические модели развития пожара и его воздействия на оборудование и ТС, которые были использованы при создании ИСОЖ (рис. 1).

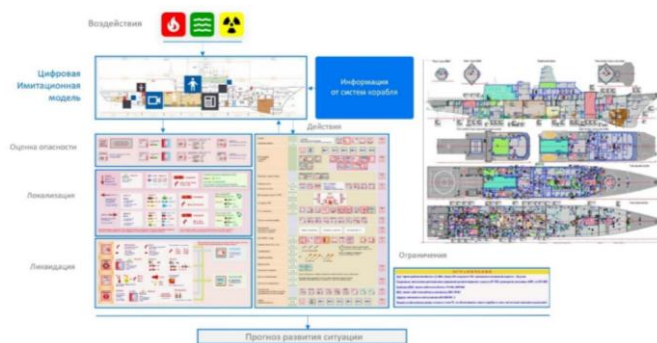


Рис. 1. Графический интерфейс ИСОЖ

Одной из основных подсистем ИСОЖ является подсистема (система) определения местоположения л/с (ПОМЛС), предназначенная для обеспечения определения местоположения, перемещения и поддержания (контроля) условий жизнедеятельности л/с на уровне, необходимом для сохранения его здоровья и работоспособности, как в повседневной, так и в аварийной ситуации, в том числе при осуществлении БЖ (рис. 2). Данная подсистема обладает возможностью функционирования в качестве самостоятельной системы.



Рис. 2. ПОМЛС ИСОЖ. Экранные формы, графический интерфейс

Применение в составе ИСОЖ оборудования внутриобъектовой связи (ПВС) вместе с функцией распознавания голоса (переговоров, команд) позволит обеспечить оперативность управления в любой сложившейся ситуации, а также при осуществлении руководства борьбой за живучесть.

К числу основных мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию кораблей различных классов в части создания систем типа ИСОЖ, на основе выполненного выше анализа следует относить [4]:

1. В первую очередь, в аспекте «разделения» ответственности между лицами, обосновывающего и принимающего решения (командиром корабля и его помощниками) в части экспертной оценки данных, размещаемых ими в ходе эксплуатации в базе данных и знаний (БДЗ) ИСОЖ. Именно роль «комдива живучести в

аварийной (критической) ситуации» должна быть не только закреплена в соответствующих регламентах (документации) по кораблю, но и определять ответственность должностного состава за совершенствование БДЗ с учетом специфики корабля и его плавания при решении свойственных задач.

Недооценка данного фактора естественно может привести к «отказу от управления» (с использованием данных ИСОЖ) в процессе возникновения аварийной ситуации и борьбы за живучесть судна.

2. В основу проектных решений обоснования структуры и решаемых задач ИСОЖ должны закладываться исходные данные по обеспечению безопасной эксплуатации кораблей соответствующих классов исключительно на основе проектно-технической, конструкторской и технологической документации корабля вплоть до использования в качестве «подложки» соответствующих чертежей. Именно это (целостность и качество проектно-технологической документации, строгое соответствие проектных решений по информационной поддержке борьбы за живучесть (ИП БЖ) проектно-технологической документации кораблей) позволит существенно минимизировать проектные ошибки и объем экспериментальных проверок.

3. Для систем типа ИСОЖ особое значение приобретает не только проведение полномасштабных испытаний всех видов (лабораторных, стендовых, швартовых, межведомственных и т.п.), но и прохождение процедур сертификации средств и аттестации объекта информатизации. Именно эти процедуры (по полномасштабной отработке, испытаниям, сертификации проектных решений по ИП БЖ, а также аттестации объектов автоматизации БЖ) позволят повысить качество верификации, валидации системы и снизить риск введения в эксплуатацию «сырых», «недоработанных» системно-технических, проектных и управленческих решений.

4. В процессе проектирования систем типа ИСОЖ в качестве исходных данных для «заливки» в БДЗ целесообразно задавать максимально возможный перечень алгоритмов действий ЛПР при борьбе за живучесть корабля. Более того, данный перечень должен иметь соответствующий уровень верификации и валидности, чтобы минимизировать в процессе обучения ошибки управления ЛПР.

5. В процессе отработки (тренажерный режим) принятых проектных решений по архитектуре, функционалу и алгоритмам ИСОЖ в качестве «доверительных» должны использоваться независимо несколько (более 3-5) экспертов, что наряду с реализацией полимодельной концепции формирования алгоритмов информационно-аналитической поддержки операторов создаст достаточные условия по регуляризации задач оптимального принятия многокритериальных решений.

Особый интерес в целях обеспечения пожарной безопасности вызывают решения, связанные с распознаванием образов в системах пожарной сигнализации и видеонаблюдения [5–11]. Искусственный интеллект (ИИ) – мощный и на сегодня, пожалуй, наилучший метод для решения задач распознавания образов в пожароопасных ситуациях, когда отсутствуют значительные фрагменты информации, а имеющаяся информация предельно зашумлена.

Следует отметить, что технологии ИИ, это перспективная и развивающаяся область науки, которую можно использовать для обеспечения пожарной безопасности, а также работы систем пожаротушения [12–13].

На данный момент уже существует ряд систем, которые призваны помочь ЛПР при организации тушения пожара, однако, ИИ применяется в качестве связующего звена всех этих систем. Данные всех датчиков будут обрабатываться ИИ и передаваться в ИСОЖ (рис. 3). ИИ же посредством анализа будет передавать полноценную уже сведенную информацию ЛПР, таким образом повышается осведомленность ЛПР.



Рис. 3. Система обработки данных ИИ

Вместе с тем, анализ источников (литературы и патентных материалов) [14–16] показывает, что имеет место проявление следующих особенностей и тенденций создания и развития систем ИП АСППР применительно к интеллектуальным системам управления типа ИСОЖ:

1. Теорией систем искусственного интеллекта требования к интеллектуальным возможностям ИП систем управления класса СИП БЖ определяются условиями обеспечения высокой степени надежности и качества функционирования ИСОЖ при наличии существенной неопределенности входных данных (условий функционирования), изменчивости обстановки, широкого спектра воздействий случайного характера, а также неполноты и нечеткости поступающей информации. При этом в наиболее общем случае ИСОЖ, как интеллектуальная система управления, должна обладать широким многообразием функциональных свойств, включая:

- ◆ способность к анализу ситуаций, оценке обстановки и собственного состояния на основе обработки сенсорной информации (информации в сигналах датчиков с их числом более 100-150);
- ◆ способность к проведению самодиагностики ИСОЖ;
- ◆ способность к планированию целесообразных действий и поведения на основе анализа задачно-ориентированных указаний;
- ◆ способность к логическому выводу на основе данных, накопленных и непрерывно (циклически с длительностью цикла принятия решений порядка 1 минуты) актуализируемых знаний;
- ◆ способность к выполнению прогнозов и предсказаний на интервале минимум от 5-7 циклов принятия решений, т.е. от (10-15) минут;
- ◆ способность к интерактивному (в пределе – автоматическому) формированию модели внешней обстановки с контролируруемыми параметрами верификации и валидности;
- ◆ способность к интерактивному (в пределе – автоматическому) формированию модели обстановки на корабле с возможностью вывода формальных закономерностей на основе анализа разрозненных фактов и с различным уровнем адекватности;
- ◆ способность к обобщению формируемых и актуализируемых знаний, накопленного опыта и типовых ситуаций с их регистрацией в базе данных и знаний (БДЗ) ИСОЖ;
- ◆ способность к обучению корабельного экипажа, в первую очередь, командиров, старших помощников командира и механиков корабля на примерах задач, хранимых в БДЗ, в интерактивном режиме с соответствующим расширением перечня и объема учебных задач;

- ◆ способность к самообучению корабельного экипажа, как в автономном режиме, так и в режиме дистанционного обучения (контроля знаний), а также в режиме группового обучения автономно и дистанционно;

- ◆ способность к моделированию ситуаций корабельным экипажем, представленных на уровне естественного языка описания и программирования.

2. Требования к человеко-машинному интерфейсу ИСОЖ определяются из условий обеспечения ее эффективной эксплуатации в экстремальных условиях, при высокой быстротечности изменения ситуаций, минимальном времени на оценку оперативной обстановки и постановку соответствующих задач с учетом стрессовых состояний или возможной неподготовленности оператора (пользователя), способного выдать необходимое целеуказание только лишь в самой обобщенной форме. При наличии таких ограничений приказ на выполнение задачи и доклад об итогах ее решения должны отдаваться и приниматься в режиме двустороннего диалога на уровне естественного или близкого к нему языка.

3. Реализация подобных, по существу – потенциальных, возможностей предполагает необходимость обеспечения следующих функций человеко-машинного интерфейса:

- ◆ поддержание диалога на уровне естественного языка, в том числе с возможностью речевого и символьного ввода/вывода;

- ◆ ввод и адекватное восприятие естественно-языковых целеуказаний и команд оператора на выполнение требуемых прикладных задач;

- ◆ интерпретация (объяснение) принимаемых решений на уровне естественного языка;

- ◆ естественно-языковое обучение понятиям и общим закономерностям, признакам объектов и ситуаций, правилам целесообразного поведения в типовых ситуациях.

4. Требования к функциям ИСОЖ в части внешнего восприятия, «очувствления» обстановки при использовании комплекса соответствующих датчиков, реализуемого интеллектуальной подсистемой управления, определяются необходимостью достоверной идентификации текущего состояния технических систем и устройств корабля для построения (синтеза) адекватной модели обстановки и последующего синтеза принимаемого решения о рациональном порядке выполнения поставленной прикладной задачи. При этом очевидно, что эффективность функционирования систем типа ИСОЖ будет во многом зависеть от заложенного набора ее возможностей по сенсорному «очувствлению», включая:

- ◆ сбор и выполнение предварительной обработки различных видов сенсорной информации о текущем состоянии и воздействиях внешней среды;

- ◆ способность к оперативному обучению средств распознавания, формированию типовых вариантов обстановки и принимаемых решений (типовых моделей управления) как в штатных условиях функционирования, аварийных условиях (типовых моделей управления борьбой за живучесть), так и в условиях, не предусмотренных соответствующими наставлениями и инструкциями экипажу по предотвращению аварий, борьбы за живучесть корабля;

- ◆ способность отслеживать заданные типы изменений внешней среды (по соответствующим типовым моделям борьбы за живучесть) с идентификацией их параметров.

5. Практическая реализация рекомендаций теории систем искусственного интеллекта сопряжена, как показывает анализ практик построения автоматизированных систем СИП БЖ [17, 18], с необходимостью решения следующих основных проблем создания и развития систем типа ИСОЖ:



5.1. Формирования алгоритмов и методов БЖ применительно к специфике конкретных проектов кораблей, включая наиболее критичные из них с точки зрения устойчивости борьбы за живучесть.

5.2. Возрастания структурной, функциональной и системной сложности корабельных систем и её учета при синтезе и реализации результативных и эффективных алгоритмов и методов БЖ.

5.3. Отсутствия в связи с новизной направления развития систематизированных сведений о практиках и рекомендациях по проектированию систем типа ИСОЖ (рис. 4), их достаточной практической отработки в связи с ограниченными возможностями испытаний устройств и систем по БЖ, существенной ресурсной и рискованной емкостью подобных испытаний.

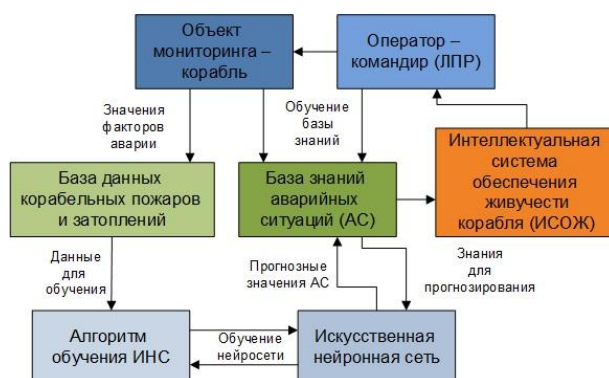


Рис. 4. Структурная схема перспективной ИСОЖ

Наиболее значимыми задачами реализации технологий искусственного интеллекта и их научно-технического совершенствования являются [19, 20]:

1. Систематизация накопленного опыта и выявление лучших практик обоснования, проектирования, создания и развития элементов и систем ИСОЖ. Одним из возможных вариантов решения данной задачи может быть согласованная ведущими специалистами в отрасли базы данных и знаний (БДЗ-СИП) с квалиметрическими оценками качества (Q) и конкурентной способности (КС=Q/QБТР) альтернативных вариантов (АВ) технологических решений (ТР) и образцов технических средств (ТС) в сравнении с базовыми ТР (БТР), как ведомственного (корпоративного), национального, так и международного (мирового) уровней. Решение этой задачи позволит проектировщикам и заказчикам технологически и инновационно-«прозрачно» управлять развитием систем ИСОЖ с соответствующей экономичностью затрат всех видов (времени, финансов, материально-технически, трудовых и других).

При этом, немаловажным преимуществом следует считать получение синергетического (эмерджентного) эффекта выигрыша за счет реализации принципа концентрации коллективных усилий специалистов с актуализацией их потенциалов на единой информационной основе БДЗ-СИП.

В свою очередь, не исключается также эффект определенной нейтрализации значимости вопросов корпоративных тайн, так как реализация высокотехнологичных решений по ИСОЖ будет доступна только высоко технологически развитым компаниям. Более того, которые будут заинтересованы культивировать различные формы высокопрофессиональной вневедомственной независимой экспертизы, в том числе участвующей в актуализации БДЗ-СИП, решении нетрадиционных задач системной аналитики и синтеза.

2. Оперативная (своевременная) опытно-конструкторская проработка и отработка перспективных ТР, создание опытных образцов ТС по ИСОЖ из состава конкурентно-способных вариантов в БДЗ-СИП, в том числе получения сопоставимых данных обеспечения конкурентной способности создаваемых образцов ИСОЖ.

Таким образом, одним из факторов, обосновывающих актуализацию данной задачи, является тенденция стремительного роста структурной и функциональной сложности современных систем ИСОЖ, а также практическую невозможность описания исходных данных при формализации требований к системам автоматизации в условиях многовариантного развития аварийных ситуаций и борьбы за живучесть, а, тем более, поведенческих характеристик операторов и наличия «человеческих» факторов. В свою очередь, использование даже технологий моделирования, в первую очередь, имитационного моделирования без использования «оболочек» конкурентно способных ТР, не позволит в силу ряда необходимых упрощений достигнуть необходимого уровня верификации исходных данных и необходимого уровня валидности полученных результатов моделирования.

В этой связи, переход к эмпирическим принципам поиска и выбора направлений развития будет более предпочтительным, так как будет в условиях явно выраженной и трудно преодолимой неопределенности базироваться на контролируемой и непрерывно актуализируемой базе эмпирически обоснованных данных.

Решение этой задачи позволит проектировщикам и заказчикам практически безальтернативно выбирать конкурентно способные ТР с соответствующей минимизацией рисков, затрат на поисковые НИР и обоснование ОКР.

3. Минимизация числа контуров автоматизированного управления процессами БЖ и их перевода в состав числа контуров автоматического управления с целью минимизации возможностей проявления негативного влияния субъективных свойств операторов (человеческих факторов).

Решение этой задачи позволит снизить риски Заказчика при возможном неполном представлении требований к системам ИСОЖ, недостаточном качестве реализации этих требований, объективности многофакторности задачи ИСОЖ.

Более того, это позволит сузить сектор решаемых оператором высоко ответственных задач и проектов управленческих решений, представляемых СИП, с одновременной концентрацией его ресурсных возможностей на альтернативных вариантах проектных решений с соответствующей регистрацией принятия решений.

С единых позиций подойти к решению всего спектра задач структурно-функционального синтеза системы поддержки принятия решения (СППР), СИП, возникающих на различных этапах их жизненного цикла, можно в рамках решения только практических задач, в том числе в рамках выполняемых НИОКР, используя фундаментальные и прикладные результаты, полученные к настоящему времени в таких научных дисциплинах, как исследование операций, искусственный интеллект, теория управления, теория принятия решений, системный анализ.

**Заключение.** Несмотря на то, что в настоящее время достигнут значительный прогресс в вопросах конструктивного обеспечения живучести кораблей, многие идеи и разработки, в том числе и кратко изложенные в данной статье, все еще находятся лишь на стадии теоретических и экспериментальных исследований. Существующие наработки необходимо «переводить» в практическую плоскость, учитывая их при проектировании новых (модернизации) кораблей ВМФ.

Для реализации интеллектуального подхода в обеспечении живучести выполняется поисковая научно-исследовательская работа: «Поиск и исследование методов и технологий искусственного интеллекта для применения в системах обеспечения пожарной безопасности кораблей» с выполнением фундаментальных задач направлена на повышение эффективности обеспечения пожарной безопасно-

сти кораблей (судов обеспечения) и подводных лодок ВМФ. Работа включена в научный план Вооруженных сил Российской Федерации на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов. Цель работы - обосновать методы и технические решения для обеспечения интеллектуального контроля пожарной опасности в корабельных помещениях различного назначения. Заказчиками НИР выступают Управление развития технологий искусственного интеллекта Министерства обороны Российской Федерации и Морской научный комитет Военно-Морского Флота. Головной исполнитель: Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия».

Впервые будет проведена работа по теоретическому обоснованию методов и технологий, позволяющих интеллектуализировать процесс контроля пожарной безопасности в корабельных помещениях. По результатам выполнения НИР будет принято решение о целесообразности внедрения функций интеллектуальной поддержки в системы обеспечения живучести кораблей (судов обеспечения) и подводных лодок ВМФ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Требования ВМФ к системам информационной поддержки по борьбе за живучесть подводной лодки. Д-5539. – СПб.: НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ, 2013.
2. *Киршнер, А.Л., Корманов В.М.* Система информационной поддержки при борьбе за живучесть надводных кораблей и подводных лодок // Научно-технический сборник «Системы управления и обработки информации». – 2000. – Вып. 1.
3. *Никитин Е.В.* Некоторые проблемы обеспечения живучести кораблей и судов ВМФ // Военная мысль. – 2016.
4. *Шилов К.Ю., Бобрович В.Ю., Поленин В.И., и др.* Автоматизация процессов борьбы за живучесть корабля, судна: коллективная монография. – 3-е изд. испр. и доп. – СПб.: ИАП БЖКС, 2022. – 506 с.
5. *Круглеевский В.Н.* Принципы формирования комплекса источников первичной информации, необходимого для диагностирования пожарной опасности контролируемого объекта // Сб. материалов научно-технической конференции. – СПб.: ВМИИ, 2000.
6. *Артамонов В.С., Круглеевский В.Н., Скороходов Д.А., Поляков А.С.* Судовые системы пожарной сигнализации. От прошлого в будущее. – СПб.: Изд-во университета ГПС МЧС России, 2013.
7. *Солонько В.А., Круглеевский В.Н., Колесник В.А.* Процесс контроля пожарной опасности в корабельных помещениях, как задача распознавания образов // Морской вестник. – 2006. – № 3.
8. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н.* Подход к развитию систем пожарной сигнализации как к системам распознавания образов // Сб. трудов всероссийской научно-теоретической конференции. – СПб.: ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2015.
9. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Казакевич Н.В.* Анализ методов и способов автоматизированного обнаружения и контроля пожара и пожарной опасности в корабельных помещениях // Сб. научных трудов ВУНЦ ВМФ «ВМА». – СПб.: ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2015.
10. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Цатков А.П.* Повышение эффективности корабельных систем пожарной сигнализации путем реализации функции освещения обстановки в аварийном помещении // Сб. статей Международной научно-практической конференции «Кораблестроение в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы» ВОКОР-2018. – СПб., 2018.
11. *Соловьев С.Н., Пушкарев О.П., Цымбаревич В.А., Бледнов Д.А., Круглеевский В.Н.* Общие технические требования к системам корабельного (судового) мониторинга и комплексам технических средств охраны надводных кораблей и судов обеспечения Военно-Морского Флота. – СПб., 2016.
12. *Пуха Г.П.* Технологии реализации интеллектуальной поддержки принятия решения: учебник. – СПб.: ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2018. – 224 с.
13. *Бухаров Е.О., Поляков В.Р.* Искусственный интеллект как перспективная основа методов формализованного прогнозирования // Военная мысль. – 2019. – № 4. – С. 81-86.

14. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Гусева А.И., Малыхина Г.Ф.* Использование нейросетевой модели обработки данных в системах обнаружения пожаров для определения места возгорания // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 2 (44). – Т. 2. – С. 93-101.
15. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Наумов С.К., Кузнецов А.В.* Судовое устройство определения источника возгорания мультикритериальным пожарным извещателем с использованием нейронного классификатора. Патент на полезную модель № 198734 от 24 июля 2020 г., патентообладатель: ООО «НПО Пожарная автоматика сервис».
16. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Гусева А.И., Малыхина Г.Ф.* Способ определения местоположения очага пожара с использованием многослойного рекуррентного перцептрона. Заявка на изобретение № 2021117160 от 12 декабря 2022 г., патентообладатель: ФГАОУ ВО «СПбПУ».
17. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н.* Методика автоматизированного распознавания пожара в корабельных помещениях // Сб. научных трудов III Научно-практической конференции «Современные технологии автоматизации борьбы за живучесть (АПБЖ-2015)». – СПб.: Клуб Моряков-подводников и ветеранов ВМФ, 2015.
18. *Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Дягилев М.В.* Усовершенствование тактики борьбы с корабельным пожаром в части обнаружения пожара, выбора и применения средств пожаротушения // Сб. трудов всероссийской научно-теоретической конференции. – СПб.: ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2016.
19. *Шпак В.Ф., Директоров Н.Ф., Мирошников В.И., Новойцев С.П., Наумов В.Н., Серегин А.В., Синещук Ю.И., Туровский О.М.* Информационные технологии в системе управления силами ВМФ (теория и практика, состояние и перспективы развития). – СПб.: Элмор, 2005. – 832 с.
20. *Козлов В.Н.* Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2011. – 244 с.

#### REFERENCES

1. Trebovaniya VMF k sistemam informatsionnoy podderzhki po bor'be za zhivuchest' podvodnoy lodki. D-5539 [Navy requirements for submarine survivability information support systems. D-5539]. St. Petersburg: NII korablestroeniya i vooruzheniya VMF, 2013.
2. *Kirshner, A.L., Kormanov V.M.* Sistema informatsionnoy podderzhki pri bor'be za zhivuchest' nadvodnykh korablye i podvodnykh lodok [Information support system in the fight for the survivability of surface ships and submarines], *Nauchno-tekhnicheskii sbornik «Sistemy upravleniya i obrabotki informatsii»* [Scientific and technical collection "Information management and processing systems"], 2000, Issue 1.
3. *Nikitin E.V.* Nekotorye problemy obespecheniya zhivuchesti korablye i sudov VMF [Some problems of ensuring the survivability of ships and vessels of the Navy], *Voennaya mysl'* [Military Thought], 2016.
4. *Shilov K.Yu., Bobrovich V.Yu., Polenin V.I., i dr.* Avtomatizatsiya protsessov bor'by za zhivuchest' korablya, sudna: kollektivnaya monografiya [Automation of the processes of fighting for the survivability of a ship, vessel: collective monograph]. 3rd ed. corr. and exp. St. Petersburg: IAP BZhKS, 2022, 506 p.
5. *Krugleevskiy V.N.* Printsipy formirovaniya kompleksa istochnikov pervichnoy informatsii, neobkhodimogo dlya diagnostirovaniya pozharной opasnosti kontroliruемого ob"ekta [Principles of forming a complex of primary information sources necessary for diagnosing the fire hazard of a controlled facility], *Sb. materialov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Collection of Materials of a Scientific and Technical Conference]. St. Petersburg: VMII, 2000.
6. *Artamonov V.S., Krugleevskiy V.N., Skorokhodov D.A., Polyakov A.S.* Sudovye sistemy pozharной signalizatsii. Ot proshlogo v budushchee [Ship fire alarm systems. From the past to the future]. St. Petersburg: Izd-vo universiteta GPS MChS Rossii, 2013.
7. *Solon'ko V.A., Krugleevskiy V.N., Kolesnik V.A.* Protsess kontrolya pozharной opasnosti v korabel'nykh pomeshcheniyakh, kak zadacha raspoznavaniya obrazov [The process of controlling fire danger in ship premises as a task of pattern recognition], *Morskoy vestnik* [Marine Bulletin], 2006, No. 3.
8. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N.* Podkhod k razvitiyu sistem pozharной signalizatsii kak k sistemam raspoznavaniya obrazov [Approach to the development of fire alarm systems as pattern recognition systems], *Sb. trudov vserossiyskoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii* [A collection of works of the All-Russian Scientific and Theoretical Conference]. St. Petersburg: VMPI VUNTS VMF «Военно-морская академия», 2015.

9. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Kazakevich N.V.* Analiz metodov i sposobov avtomatizirovannogo obnaruzheniya i kontrolya pozhara i pozharnoy opasnosti v korabel'nykh pomeshcheniyakh [Analysis of methods and methods for automated detection and control of fire and fire hazard in ship premises], *Sb. nauchnykh trudov VUNTS VMF «VMA»* [Collection of scientific works of the VUNC Navy "VMA."]. St. Petersburg: VUNTS VMF «Voenno-morskaya akademiya», 2015.
10. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Tsapkov A.P.* Povyshenie effektivnosti korabel'nykh sistem pozharnoy signalizatsii putem realizatsii funktsii osveshcheniya obstanovki v avariynom pomeshchenii [Increasing the efficiency of ship fire alarm systems by implementing the function of lighting the situation in an emergency room], *Sb. statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Korablestroenie v XXI veke: sostoyanie, problemy, perspektivy» VOKOR-2018* [Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference "Shipbuilding in the 21st Century: State, Problems, Prospects" VOKOR-2018]. St. Petersburg, 2018.
11. *Solov'ev S.N., Pushkarev O.P., Tsybarevich V.A., Blednov D.A., Krugleevskiy V.N.* Obshchie tekhnicheskie trebovaniya k sistemam korabel'nogo (sudovogo) monitoringa i kompleksam tekhnicheskikh sredstv okhrany nadvodnykh korably i sudov obespecheniya Voenno-Morskogo Flota [General technical requirements for ship (ship) monitoring systems and complexes of technical means of protection of surface ships and support vessels of the Navy]. St. Petersburg, 2016.
12. *Pukha G.P.* Tekhnologii realizatsii intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniya: uchebnik. St. Petersburg: VUNTS VMF «Voenno-morskaya akademiya», 2018, 224 p.
13. *Bukharov E.O., Polyakov V.R.* Iskusstvennyy intellekt kak perspektivnaya osnova metodov formalizovannogo prognozirovaniya [Artificial intelligence as a promising basis for formalized forecasting methods], *Voennaya mysl'* [Military thought], 2019, No. 4, pp. 81-86.
14. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Guseva A.I., Malykhina G.F.* Ispol'zovanie neyrosetevoy modeli obrabotki dannykh v sistemakh obnaruzheniya pozharov dlya opredeleniya mesta vozgoraniya [Using a neural network data processing model in fire detection systems to determine the place of ignition], *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intelligent Technologies], 2019, No. 2 (44), Vol. 2, pp. 93-101.
15. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Naumov S.K., Kuznetsov A.V.* Sudovoe ustroystvo opredeleniya istochnika vozgoraniya mul'tikriterial'nym pozharnym izveshchatelem s ispol'zovaniem neyronnogo klassifikatora. Patent na poleznuyu model' № 198734 ot 24 iyulya 2020 g., patentoobladatel': OOO «NPO Pozharnaya avtomatika servis» [Vessel device for determining the source of ignition by a multicritical fire detector using a neural classifier. Patent for utility model No. 198734 dated July 24, 2020, patent holder: NPO Fire Automation Service LLC].
16. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Guseva A.I., Malykhina G.F.* Sposob opredeleniya mestopolozheniya ochaga pozhara s ispol'zovaniem mnogosloynnogo rekurrentnogo perseptrona. Zayavka na izobretenie № 2021117160 ot 12 dekabrya 2022 g., patentoobladatel': FGAOU VO «SPbPU» [Method for Determining the Location of a Fire Source Using a Multi-layer Recurrent Perceptron. Application for the invention No. 2021117160 dated December 12, 2022, patent holder: FSAEI HE "SPbPU"].
17. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N.* Metodika avtomatizirovannogo raspoznavaniya pozhara v korabel'nykh pomeshcheniyakh [Procedure for Automated Fire Recognition in Ship Rooms], *Sb. nauchnykh trudov III Nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii bor'by za zhivuchest' (APBZH-2015)»* [Collection of scientific works of the III Scientific and Practical Conference "Modern Technologies for Automation of Survivability Control (APBZh-2015)"]. St. Petersburg: Klub Moryakov-podvodnikov i veteranov VMF, 2015.
18. *Obraztsov I.V., Krugleevskiy V.N., Dyagilev M.V.* Uovershenstvovanie taktiki bor'by s korabel'nym pozharom v chasti obnaruzheniya pozhara, vybora i primeneniya sredstv pozharotusheniya [Improvement of ship fire control tactics in terms of fire detection, selection and use of fire extinguishing equipment], *Sb. trudov vserossiyskoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii* [A collection of works of the All-Russian Scientific and Theoretical Conference]. St. Petersburg: VMPI VUNTS VMF «Voenno-morskaya akademiya», 2016.

19. *Shpak V.F., Direktorov N.F., Miroshnikov V.I., Novoytsev S.P., Naumov V.N., Seregin A.V., Sineshchuk Yu.I., Turovskiy O.M.* Informatsionnye tekhnologii v sisteme upravleniya silami VMF (teoriya i praktika, sostoyanie i perspektivy razvitiya) [Information technologies in the management system of the Navy (theory and practice, state and development prospects)]. St. Petersburg: Elmor, 2005, 832 p.
20. *Kozlov V.N.* Sistemnyy analiz, optimizatsiya i prinyatie resheniy: ucheb. posobie [System analysis, optimization and decision-making: study manual]. St. Petersburg: Izd-vo politekhn. un-ta, 2011, 244 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.А. Петров.

**Образцов Иван Викторович** – ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»; e-mail: lion-jan@ya.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: 89119293044; к.т.н.; докторант.

**Шкодыврев Вячеслав Петрович** – СПбПУ, НТК «Математическое моделирование и интеллектуальные системы управления»; e-mail: shkodyrev@spbstu.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; тел.: 892194377-96; д.т.н., профессор; директор.

**Obraztsov Ivan Viktorovich** – VUNC Navy "Naval Academy"; e-mail: lion-jan@ya.ru; St. Petersburg, Russia; phone: +79119293044; cand. of eng. sc.; doctoral student.

**Shkodyrev Vyacheslav Petrovich** – SPbPU, NTK "Mathematical modeling and intelligent control systems"; e-mail: shkodyrev@spbstu.ru; St. Petersburg, Russia; phone: +79219437796; dr. of eng. sc.; professor; director.