

# Обзор направлений интеллектуализации продукции и деятельности приборостроительного предприятия

Overview of the directions for intellectualizing products and activities of the instrument-making enterprise

doi 10.26310/2071-3010.2021.271.5.004



**С. М. Евсеенко,**

к. т. н., с. н. с., эксперт службы стратегического развития, научного и информационного сопровождения, АО «Концерн «НПО «Аврора»  
✉ smevs@mail.ru

**S. M. Evseenko,**

PhD in engineering, senior scientist researcher, expert for strategic development service, scientific and informational support, JSC Consern Avrora

Для предприятий приборостроения разработку и внедрение технологий ИИ целесообразно определить как интеллектуализацию продукции и управления деятельностью предприятия или управления организационно-технологическими процессами. Интеллектуализация, наряду с механизацией, автоматизацией и роботизацией является одним из направлений и эволюционных этапов научно-технического прогресса (НТП). Определены шесть основных объективных причин необходимости интеллектуализации и семь целей интеллектуализации (ЦИ) управления организационно-технологическими процессами. Исходя из приведенных в статье целей интеллектуализации, каждый разработчик продукции или организатор управленческой деятельности предприятия может определить наличие интеллектуальных функций, которые уже переданы на реализацию программно-аппаратным средствам или могут быть переданы им в перспективе. Представлены примеры реализации интеллектуальных функций в датчиках и сигнализаторах, исполнительных механизмах, регуляторах, системах поддержки принятия решений (ССПР) при борьбе за живучесть корабля и управлении производством.

For instrument-making enterprises, it is expedient to define the development and implementation of AI technologies as intellectualization of products and management of enterprise activities or management of organizational and technological processes. Intellectualization, along with mechanization, automation and robotization, is one of the directions and evolutionary stages of scientific and technological progress (STP). Six main objective reasons for the need for intellectualization and seven goals for intellectualization (CI) for managing organizational and technological processes have been identified. Based on the goals of intellectualization given in the article, each product developer or a person in charge for management activities of an enterprise can determine the presence of intellectual functions that have already been transferred for implementation to software and hardware or can be transferred to them in future. Examples of intelligent functions implemented in sensors and signaling devices, actuators, regulators, decision support systems (DSS) in the fight for ship damage and in production management are presented.

**Ключевые слова:** интеллект, интеллектуализация, интеллектуальный датчик, привод, регулятор, интеллектуальная система, интеллектуальные функции, искусственный интеллект, поддержка принятия решений, технический интеллект, технология, управление, эволюция, экспертные системы.

**Keywords:** intelligence, intellectualization, intelligent sensor, drive mechanism, regulator, intelligent system, intelligent functions, artificial intelligence, decision support, technical intelligence, technology, control, evolution, expert systems.

## Введение

Статья является продолжением темы разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта (далее — ИИ) в продукцию и деятельность акционерных обществ с государственным участием (далее — АОСГУ) в рамках Национальной стратегии развития ИИ (далее — Стратегия), изложенной в работе автора [1].

Эволюцией научно-технического прогресса (далее — НТП), Стратегией и Методическими документами Минэкономразвития России по разработке и реализации программ инновационного развития (далее — ПИР) для АОСГУ, аналогичных Обществу [2, 3], поставлены задачи, связанные с внедрением технологий ИИ в производство и бизнес-процессы, созданием систем «усиливающих» интеллект человека и поддерживающих принятие решений, по передаче интеллектуальных функций, ранее выполняемых человеком, техническим средствам, техническому интеллекту [4], а также по созданию интеллектуальных сигнализаторов и датчиков.

В английском языке словосочетание «Artificial Intelligence» не имеет человекоподобного свойства (антропоморфизма), которое оно приобрело в традиционном русском переводе: слово «intelligence» в используемом контексте скорее означает «умение

рассуждать разумно», «умственные способности» или «интеллектуальность», а вовсе не «интеллект» (для которого есть английский аналог — «intellect»). Из-за этого некорректного перевода происходит неприятие этого термина и научного направления многими учеными и руководителями научных организаций. Поэтому описывая разработку и внедрение технологий ИИ целесообразно использовать более корректные термины «интеллектуализация», «степень интеллектуализации» или «степень интеллектуальности».

Далее разработку и внедрение технологий ИИ определим как интеллектуализацию продукции и управления деятельностью предприятия. Интеллектуализация является, наряду с механизацией, автоматизацией и роботизацией одним из направлений и эволюционных этапов НТП [5-7].

## Интеллектуализация — направление НТП

Эволюция задач и методов автоматизации, теории и практики управления привела к использованию в средствах и системах управления методов ИИ, появились понятия: интеллектуальный регулятор, интеллектуальный датчик, интеллектуальный привод, интеллектуальная система управления, интеллектуальное или интеллектуальное управление, технический интеллект,

человеко-машинный интеллект и т. п. [8-10]. Необходимо отметить, что нет четкого обозначенного времени начала эры интеллектуализации управления. По мнению академика А. А. Красовского, внедрение ИИ было уже в двухконтурных самонастраивающихся оптимальных регуляторах с экстраполяцией [11]. Свообразным «водоразделом» развития автоматизации управления (как процесса переноса функций человека по контролю и управлению техническими объектами на алгоритмическое и аппаратно-программное обеспечение СУ) и началом интеллектуализации управления (как процесса создания технического интеллекта, обладающего знаниями и способного обучаться, накапливать опыт, принимать решения в нештатных или априори не заложенных в память СУ ситуациях) стали адаптивные, самонастраивающиеся и обучающиеся системы [7-10]. По мнению А. В. Тимофеева интеллектуализация систем управления роботов произошла уже давно при адаптивной коррекции структуры закона управления программного движения и при использовании алгоритма обхода препятствия с возвращением на прежний курс [12].

Выделим следующие основные объективные причины необходимости интеллектуализации систем управления:

1. Традиционные технологии уже не в состоянии обеспечить требуемое повышение качества управления, так как они не учитывают всех неопределенностей, воздействующих на систему. Так сложность алгоритмов адаптивного управления и сложность их цифровой реализации с обеспечением устойчивости такой дискретной системы управления не всегда дают желаемые результаты [8].
2. Наличие в настоящее время фундаментальной теоретической базы и успешной реализации методов ситуационного управления [13, 14], нечеткого логического вывода и других реализованных методов интеллектуализации [8-10]: экспертных систем (ЭС), нейронных сетей (НС), генетических алгоритмов настройки (ГА) и ассоциативной памяти (АП).
3. Появилась реальная возможность применения существующей элементной базы и аппаратно-программных платформ для создания определенных классов интеллектуальных систем управления (далее — ИСУ), относительная простота которых связана с обработкой большого набора знаний в конкретной предметной области.
4. Дальнейшее развитие интеллектуальных технологий управления как на измерительно-исполнительском уровне (интеллектуальный датчик, привод или интеллектуальный мехатронный модуль и т. д.), так и на уровне планирования и организации целесообразных действий и поведения — позволит обеспечить реализацию и внедрение принципиально нового поколения машин и платформ ИТ.
5. Большинство задач, решаемых на уровне планирования и организации деятельности (на стратегическом и тактическом уровнях управления предприятием или кораблем), относятся к классу плохоструктурированных задач или задач органи-

зованной сложности [15], автоматизация решения которых требует использования манипулирования нечеткими множествами, эвристических, ассоциативных и логических методов, уже реализуемых в технологиях ИИ.

6. Измеряемый объем информации в сложных технических системах часто уже превосходит возможности людей по анализу этой информации. Известные аварии и катастрофы на транспорте, в промышленности, энергетике, при освоении космоса связаны либо с перегрузкой операторов (диспетчеров), недостаточным опытом работы и/или с недостаточным качеством проектирования управляемых систем, неспособных реагировать на возникновение нештатных ситуаций неуправляемости. Используя терминологию В. В. Величенко [4] можно утверждать, что в настоящее время наблюдается переход от принципа замещения естественного интеллекта (ЕИ) техническим интеллектом (ТИ) к принципу вытеснения (перевода) ЕИ на более высокие уровни управления: с исполнительского уровня на уровень координации, а затем на уровень организации или, в другой системной терминологии, с уровня оперативного управления — на уровни тактического и стратегического управления.

#### Цели интеллектуализации и примеры ее реализации

Выделим следующие цели интеллектуализации (ЦИ) управления организационно-технологическими процессами.

- ЦИ1 — все большее отстранение человека от участия в процессах контроля, диагностирования, мониторинга, управления и технического обслуживания на уровне оперативного управления или на исполнительском уровне управления организационно-технологическими процессами;
- ЦИ2 — обеспечение развитого человеко-машинного интерфейса и подсистемы «разъяснений», оказание информационной и интеллектуальной поддержки операторам и руководителям в повседневной эксплуатации и в сложных аварийных ситуациях на объектах, в том числе при борьбе за живучесть корабля (БЖК);
- ЦИ3 — организация и поддержание в актуальном состоянии «модели мира», представляющие собой различные базы данных (БД) и знаний (БЗ), содержащих описания событий или ситуаций, целей, задач, правил и т. п., обеспечение режимов самообучения на основе обобщения и анализа результатов функционирования;
- ЦИ4 — обеспечение повышения качества управления за счет целесообразного взаимодействия с окружающей средой (ОС), высокой адаптивности к внешним воздействиям и возмущениям, автоматической подстройки при изменении параметров системы и ОС;
- ЦИ5 — обеспечение возможного прогноза развития событий;
- ЦИ6 — обеспечение постоянства функционирования (с допустимой степенью функциональной или

качественной деградации) в условиях неопределенности или разрыва связей с более высоким уровнем иерархии управления;

- ЦИ7 — проведение во взаимно-однозначное соответствие множества допустимых управляющих решений множеству возможных сложившихся ситуаций.

Достижение целей ЦИ1-ЦИ4 и ЦИ6 во многом обеспечивается внедрением интеллектуальных датчиков [16], интеллектуальных приводов [17], и интеллектуальных регуляторов (далее — ИР) [18, 19].

Интеллектуализация измерений на практике связана в первую очередь с обеспечением регистрирующего прибора или датчика некоторыми знаниями о соотношении реально измеряемой физической величины с той, которую в результате мы хотим измерить, и применение этого соотношения к измеряемой величине. Кроме этого, осуществлением предварительной обработки измеряемой величины (например, реализацию интеллектуальной измерительной системы регистрации усредненной по времени температуры). Наряду с основной целью измерения (измерительного преобразования) такие системы решают ряд сопутствующих задач: режекция (подавление помех) и селекция (выделение) по заданному признаку одного из нескольких сигналов; ранжирование и сортировка сигналов по информационному признаку; разделение множества сигналов на подклассы; адресная идентификация одного из каналов передачи, на который воздействует сигнал с заданным информационным признаком; контроль наличия заданной ранговой ситуации множества сигналов и др. С 2010 г. действует ГОСТ по интеллектуальным датчикам и измерительным системам [20].

Интеллектуальный датчик способен:

- 1) самостоятельно подстраиваться под условия эксплуатации и непрерывно регулировать свою работу в целях достижения максимальной эффективности;
- 2) осуществлять три вида компенсации: нелинейности, влияния температуры и изменений во времени, вызванных деградацией первичного преобразователя (что уменьшает в несколько раз основную и дополнительную погрешность);
- 3) обрабатывать данные не только выходного сигнала, но и дополнительных параметров первичного преобразователя (сенсора), позволяя проводить непрерывную самодиагностику, отслеживать неисправности, делать выводы о достоверности измерений и даже отключать неисправные каналы измерения; передавать данные непосредственно на цифровой интерфейс связи;
- 4) производить настройку на другие диапазоны измерений, проводить калибровку, что упрощает техническое обслуживание и др.

Современные интеллектуальные датчики это скорее специализированные измерительные контроллеры, которые, получая сигнал от сенсора, тут же занимаются обработкой его и способны делиться информацией (или выработанным интеллектуальным продуктом по В. М. Брандину [21]) с другими интеллектуальными узлами АСУ по цифровым каналам.

Современные интеллектуальные исполнительные механизмы обеспечивают:

- 1) сверхвысокую скорость и точность движения рабочих органов, необходимых для прецизионных технологий (вплоть до микро- и наноперемещений);
- 2) минимизацию массо-габаритных показателей (вплоть до миниатюризации в микросистемах);
- 3) интеллектуальное поведение технологических и энергетических систем, работающих в изменяющихся и неопределенных внешних средах;
- 4) способность системы управления к реконфигурации структуры в соответствии с решаемыми задачами, изменяющимися целями и ситуациями (обеспечение самообучения и самонастройки) [17].

Отметим результаты исследований качества ИР, положительные и отрицательные эффекты их внедрения.

В исследованиях [18] показано, что следящие приводы скорости с ИР в сравнении обычными ПИД-регуляторами и адаптивными регуляторами воспринимают сигналы задания и сохраняют приемлемое качество регулирования при изменении момента инерции в более широком диапазоне частот, а преимущества в качестве и быстродействии в условиях неопределенности достигнуты в результате комплексного применения технологий ИИ (экспертных систем, нечеткой логики, нейросетевых структур и ассоциативной памяти).

В работе [19] анализируются три типа ИР: экспертный регулятор (ЭР), нейросетевой регулятор (НРС) и регулятор на основе ассоциативной памяти (АП). По мнению авторов, создание адаптивных систем управления на базе АП можно рассматривать как один из эффективных способов достижения цели ЦИ4. Применение НРС и АП наиболее целесообразно в быстродействующих системах, поскольку они обеспечивают работу в реальном масштабе времени (далее РМВ). Применение ЭР также возможно в быстродействующих системах, но в режиме периодической подстройки параметров, что важно для автономных объектов управления и безлюдных технологий. Пока более очевидной является возможность применения ЭР в системах управления медленно протекающими процессами. Делается вывод том, что реализация ИР в настоящее время при существующей технологической базе и парке аппаратных средств не вызывает никаких сложностей, а при организации серийного выпуска можно получить простые, надежные и дешевые конструкции.

В работах под руководством С. В. Ульянова [22, 23] представлена технология проектирования робастных БЗ с применением квантового алгоритма (КА) самоорганизации в условиях непредвиденных ситуаций управления и риска. Полученные результаты продемонстрировали эффективность КА управления самоорганизацией робастных БЗ в условиях неопределенности как нового направления в теории управления.

Характерный пример, демонстрирующий разницу между автоматизацией и интеллектуализацией, приведен в статье [24], где представлена система интеллектуального управления (СИУ) для проводки грузового судна между островами без вмешательства человека. СИУ представляет собой двухуровневую систему,

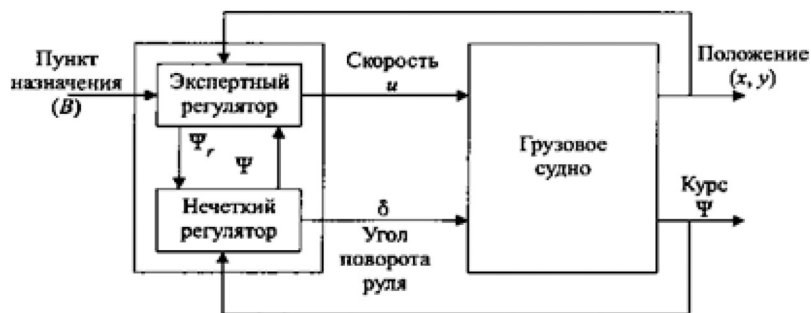


Рис. 1 Экспертно-нечеткий регулятор для проводки грузового судна

представленную на рис. 1 и возможная карта островов для проводки грузового судна — на рис. 2.

Входами в ОУ (грузовое судно) являются скорость ( $u$ ) и угол поворота руля ( $\delta$ ), выходами — курс судна ( $\Psi$ ) и положение на плоскости ( $x, y$ ). Нечеткий ПД-регулятор (НР) нижнего уровня должен стабилизировать курс к значению уставки ( $\Psi_r$ ), вырабатываемой экспертным регулятором (ЭР) верхнего уровня. ЭР является экспертной системой формирующей в РМВ на основе некоторой совокупности экспертных правил как уставку курса  $\Psi_r$ , так и значение управления скоростью  $u$ , подаваемого прямо на ОУ. НР использует ошибку  $\delta = \Psi - \Psi_r$  и ее производную для выбора значения управления углом поворота руля  $\delta$ . ЭР использует курс  $\Psi$ , текущую позицию ( $x, y$ ) и значение пункта назначения ( $B$ ) для определения: с какой скоростью  $u$  двигаться и какой курс  $\Psi_r$  задавать НР. ЭР использует некоторую систему приоритетов для правил, управляющих процессом вывода. Он отыскивает курс и скорость, основываясь на положении островов, обеспечивая подходящее маневрирование между ними в стиле опытного капитана или штурмана судна. В общем случае эти правила характеризуют желание замедлить судно на поворотах, ускорить судно на прямых участках и порождают управления, обеспечивающие судну наиболее безопасную, но и наименее удаленную от островов траекторию. При этом регулятор верхнего уровня ЭР имеет дело с более медленными аспектами движения: так он корректирует скорость значительно реже, чем регулятор нижнего уровня НР обновляет

угол поворота руля. Технология работы этого регулятора довольно похожа на описание технологии двухконтурных самонастраивающихся оптимальных регуляторов с экстраполяцией академика А. А. Красовского [11]. Основное отличие состоит в том, что вместо заложенных экспертных правил при принятии решения об изменении уставок используются вычисления функционалов критериев оптимальности.

Таким образом, можно предположить, что уровень (степень) интеллектуальности СИУ определяется и качеством функционирования по сравнению с управлением человеком-профессионалом (например: лучше; не хуже; почти также; хуже) и степенью автономности от вмешательства человека (например: используется постоянно без контроля; необходим контроль раз в сутки; используется только под контролем оператора).

Необходимо отметить, что применение методов ИИ не всегда повышает качество управления и соответствует требованиям заказчика. Так, в работе [25] сравниваются реализации нечетких ПИ- и ПИД-алгоритмов с классическими и сделаны следующие выводы: система с фазы-алгоритмом более существенно нелинейная, а вид переходных процессов зависит от формы и размера возмущающего воздействия; при малых, ограниченных по модулю и скорости изменения, значениях сигнала рассогласования нечеткий и классический ПИ-алгоритмы в динамическом отношении — эквивалентны; нечеткая реализация ПИ- и ПИД-алгоритмов при подборе параметров позволяют получить работоспособную систему, но оптимального

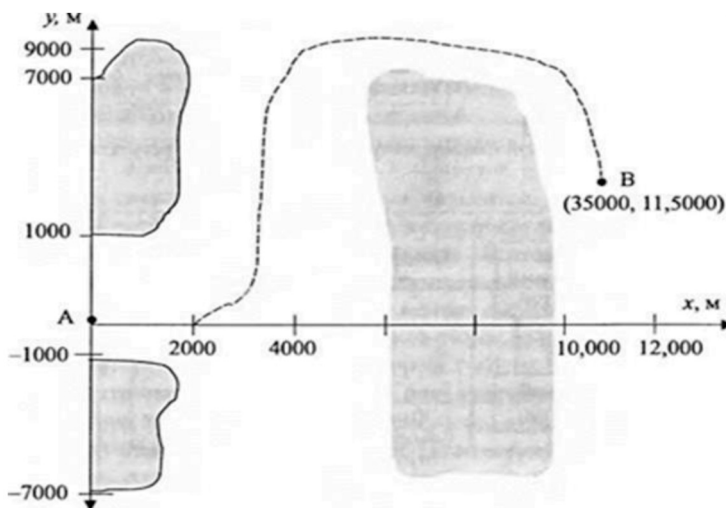


Рис. 2. Карта островов для проводки грузового судна

решения задач минимизации ошибки регулирования при действии возмущений (задача регулирования) и перевода системы в другое состояние (задачи оптимального управления) они не обеспечивают.

Достижение цели ЦИ2, т. е. оказание информационной и интеллектуальной поддержки операторам и руководителям в повседневной эксплуатации и в сложных аварийных ситуациях на объектах, в том числе при борьбе за живучесть корабля (БЖК), является одной из приоритетных в деятельности Общества. Решение этих задач возлагается на центральную координирующую систему управления (ЦКСУ) и систему информационной поддержки БЖК. Работы по созданию таких систем были начаты в 1980-х гг., в которых участвовал и автор этой статьи. В это время в отделе автоматизации надводных кораблей 1-го ЦНИИ МО инициативной группой под руководством В. А. Береснева был создан (на аппаратных средствах ЭВМ БЭСМ-6 и с использованием первого высокоуровневого языка программирования Fortran) прототип первой системы информационной поддержки командования при борьбе за живучесть большого противолодочного корабля проекта 1134Б [26]. Инициативной группой был выбран ЯПЗ — семантический язык RX-кодов, разработанный Э. Ф. Скороходько в Институте кибернетики АН УССР [27].

На основе RX-кодов был разработан ЯПЗ, ориентированный на решение задач борьбы за живучесть надводных кораблей (БЖК). В качестве элементов ЯПЗ ( $x_i$ ) были приняты отдельные слова, словосочетания, синтагмы естественного языка и аббревиатуры, описывающие предметную область «корабль». Множество  $X=\{x_i\}$ , где  $i=1, 2, \dots, n$ , этих понятий и ассоциируемое с ними множество отношений  $R=\{R_i\}$  предметной области «корабль» составили тезаурус (словарь без синонимов и омонимов) ЯПЗ. Из элементов множеств  $X=\{x_i\}$  и  $R=\{R_i\}$  строилось множество базовых понятий предметной области «корабль» [28]. На основе этого ЯПЗ формировались семиотические (логико-лингвистические) модели [29, 30] корабля, отражающие архитектуру корабля и его топологические пространства: модели главных водонепроницаемых отсеков (ГВО), водонепроницаемых отсеков (ВО), корабельных помещений и модели систем технических средств (ТС) корабля.

Например, записи на ЯПЗ для корабельного помещения «агрегатная № 2» (полужирным шрифтом выделены одинаковые элементы двух описаний):

$R_1(x_{220}x_2)$   $R_2(x_{101})$   $R_3(x_{100}x_{12})$   $R_4(x_{248}x_2)$   
 $R_5(x_{252}x_4)$   $R_6(x_{147})$   $R_7(x_{171}x_1)$   $R_8(x_{111}x_4)$   
 $R_9(x_{249}x_2)$   $R_{10}(x_{202})$   $R_{11}(x_{124}x_{10})$   $R_{11}(x_{140}x_5)$   
 $R_{11}(x_{141}x_3)$   $R_{11}(x_{142}x_2)$   $R_{11}(x_{150}x_1)$ , означала:

«имеет имя (**агрегатная № 2**) относится к системе (помещение) находится внутри (ВО № 12) находится под (коридор команды № 2) находится над (цистерна № 4) сосед слева (борт) сосед справа (мастерская № 1) сосед в нос (тамбур № 4) сосед в корму (помещение ЗИП № 2) категория ПО (ПО-2) имеет в своем составе (**ЩРО № 10**) имеет в своем составе (**водоотливной насос № 5**) имеет в своем составе (пожарный насос № 3) имеет в своем составе (масляный насос № 2) имеет в своем составе (масляный бак № 1),

а запись на ЯПЗ для элемента системы водоотлива «водоотливной насос № 5»:

$R_1(x_{140}x_5)$   $R_2(x_{106}x_{188})$   $R_3(x_{220}x_2)$   $R_{12}(x_{322})$   
 $R_{30}(x_{124}x_{10})$   $R_{36}(x_{107}x_9)$   $R_{37}(x_{107}x_{10})$   $R_{35}(x_{189})$   
 $R_{35}(x_{113})$   $R_{35}(x_{220}x_2)$   $R_{38}(x_{256})$   $R_{40}(x_{270})$ , означала:

«имеет имя (**водоотливной насос № 5**) относится к системе (водоотливная ОКС) находится внутри (**агрегатная № 2**) исполнение (водозащищенное) питается от (**ЩРО № 10**) забирает от (клапан № 9) передает в (клапан № 10) управляется из (ПЭЖ) управляется из (ЗПЭЖ) управляется из (**агрегатная № 2**) работоспособность (работоспособен) состояние (включен)».

На основе этих моделей для топологических пространств (отсеков и помещение корабля) и технических систем была создана база знаний (БЗ) проблемной среды «борьба за живучесть корабля пр. 1134Б», верификацию и постоянное администрирование которой обеспечивал автор данной работы. С участием группы программистов под руководством Л. Н. Романова из АН УзССР было разработано системное и прикладное программное обеспечение СИП БЖК для решения интеллектуальных или когнитивных задач:

- определение района аварии по сигналам и докладам;
- определение первого и второго рубежей обороны;
- определение дверей, люков, вентиляционных закрытий и головок для обеспечения локализации АС;
- отключение доступа воздуха и средств вентиляции;
- определение месторасположения аварийно-спасательного имущества;
- определение местонахождения и мест управления стационарными средствами пожаротушения и водоотлива (осушения);
- определение путей эвакуации личного состава и путей прохода аварийных партий;
- определение технических средств, оружия и вооружения попавшего в аварийную зону и способов их отключения;
- определение взрывопожароопасных объектов в зоне рубежей обороны и др.

Разработанный прототип системы был одобрен руководством и специалистами ВМФ и бюро проектантов надводных кораблей. Он явился отправной точкой постановлений и приказов по необходимости создания таких бортовых систем и формированию соответствующих подразделений в организациях судостроительной промышленности в конце 1980-х гг. Были проведены работы автора по автоматизации планирования действий по БЖК [26], которые предусматривали, прежде всего, формализацию действий (мероприятий) по БЖК. Была начата разработка фрейм-сценариев или фрейм-планов. К сожалению, эти работы по реализации системы автоматизации планирования действий по борьбе за живучесть были приостановлены в 1988 г. по независящим от авторов проекта причинам. Инициативная группа была перестроена по разным подразделениям, а предложения автора по реализации разработанного метода автоматизации планирования действий при БЖК в

Обществе, ЗАО «Си Проект» и других организациях не были приняты для разработки.

Реализация интеллектуальных функций техническим интеллектом в производственной сфере и управлении бизнес-процессами происходит с 1980-х гг. ИИ в производстве приборостроительных предприятий может применяться практически на всех вертикалях и уровнях управления.

На уровне проектирования для повышения эффективности САПР [31], разработки новых продуктов, автоматизации выбора и оценки поставщиков, при анализе требований к комплектующим, деталям и ЗИП.

На уровне производства для совершенствования процессов и координации различных производственных систем. Использование интеллектуальных систем помогает снизить количество ошибок персонала, упростить процесс производства и уменьшить время простоев при перестроении технологических процессов, а также прогнозировать возможность или невозможность реализации заказов в заданное время и с требуемым качеством [32]. В статье [33] рассматриваются вопросы применения интеллектуальных технологий для решения задачи планирования производственных мощностей при создании/модернизации производства. В силу того что расчет количества необходимого технологического оборудования ведется классическим способом — на основе станкоемкости на максимальную известную годовую программу, в которой различные простои предусмотрены на основе нормативов, задача эффективного планирования производственных мощностей остается актуальной. Расчет необходимого количества технологического оборудования предлагается проводить с помощью системы поддержки принятия решений (ССПР), реализованной на основе многоагентных технологий. Интеграция с разработанной ранее многоагентной системой календарного планирования производства позволяет осуществить проверку выполнимости производственного плана с использованием рассчитанного состава и количества оборудования. Выделены основные агенты: «расчет», «программа», «объем», «деталь», «станок». Представлены алгоритмы поведения и взаимодействия основных агентов для решения задачи планирования производственных мощностей. Программное обеспечение прототипа СППР для планирования производственных мощностей реализовано на базе Embarcadero CodeGear RAD Studio. Приведены результаты оценки эффективности решения задачи с помощью СППР в сравнении с классическим методом расчета по показателям, отражающим суммарное количество необходимого технологического оборудования, затрат на его приобретение и календарный график мероприятий закупки и поставки оборудования.

На уровне обеспечения безопасности использование функций распознавания изображений интеллектуальной системы позволит анализировать перемещения сотрудников и подвижного оборудования, а также появление посторонних лиц, повышая тем самым уровень безопасности на предприятии, и использовать распознавание изображений для контроля качества и анализа состояния оборудования.

На уровне логистики — для улучшения планирования маршрутов транспортировки, уменьшения сроков доставки сырья и обеспечения их прогнозируемости, а также отслеживания отправок и процесса доставки на всех этапах.

### Выводы

1. В английском языке словосочетание «Artificial Intelligence» не имеет человекоподобного свойства (антропоморфизма), которое оно приобрело в традиционном русском переводе: слово «intelligence» в используемом контексте скорее означает «умение рассуждать разумно», «умственные способности» или «интеллектуальность», а вовсе не «интеллект» (для которого есть английский аналог — «intellect»). Из-за этого некорректного перевода происходит неприятие этого термина и научного направления многими учеными и руководителями научных организаций. Поэтому описывая разработку и внедрение технологий ИИ целесообразно использовать более корректные термины «интеллектуализация», «степень интеллектуализации» или «степень интеллектуальности».
2. Для предприятий приборостроения разработку и внедрение технологий ИИ целесообразно определить как интеллектуализацию продукции и управления деятельностью предприятия или управления организационно-технологическими процессами организации.
3. Предлагается нестрогое множество из семи целей интеллектуализации управления организационно-технологическими процессами. Специфика деятельности конкретного предприятия может изменить предлагаемый набор целей.
4. Исходя из приведенных в статье целей интеллектуализации, каждый разработчик продукции или организатор управленческой деятельности предприятия может определить наличие интеллектуальных функций, которые уже переданы на реализацию программно-аппаратным средствам или могут быть переданы им в перспективе. В свете новых методических требований при внесении НИОКР в плановые документы предприятия (Программы деятельности, инновационного развития и среднесрочный план реализации и др.) и разработке ТЗ, целесообразно определять и указывать перечень таких интеллектуальных функций.
5. Достижение целей приборостроительного производства обеспечивается внедрением интеллектуальных датчиков, приводов, регуляторов, интеллектуальных систем управления, систем поддержки принятия решений, систем диагностирования и мониторинга.
6. Необходимо учитывать, что применение методов ИИ в простейших регуляторах не всегда повышает качество управления и соответствует требованиям заказчика.

## Список использованных источников

1. С. М. Евсеенко. Этапы развития технологий искусственного интеллекта и уточнение терминологии//Иновации. № 4. 2021. С. 39-48.
2. Методические указания по разработке и актуализации ПИР; по оценке качества разработки или актуализации ПИР; по оценке качества реализации ПИР АОСГО, государственных корпораций, государственных компаний и федеральных государственных унитарных предприятий (утвержден МВК – приложение № 1 к протоколу от 25 октября 2019 г. № 34-Д01). М.: Минэкономразвития России, 2019. 28 с.
3. Методические материалы по ежегодной отчетности о реализации ПИР АОСГО... (с изменениями утвержден МРГ – приложение № 1 к протоколу от 21 декабря 2020 г. № 23-Д01). М.: Минэкономразвития России, 2020. 52 с.
4. В. В. Величенко. Принципы технического интеллекта в проблеме управления сложными экономическими системами//Интеллектуальные системы. 1997. Т. 2. Вып. 1-4. С. 5-33.
5. С. М. Евсеенко, Д. А. Скороходов. О степени механизации и автоматизации организационно-технологических процессов предприятия и корабля//Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 3 (21). С. 44-50.
6. С. М. Евсеенко, Д. А. Скороходов. О степени интеллектуализации, роботизации и комплексной оценки управления организационно-технологическими процессами предприятия и корабля//Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 4 (22). С. 53-61.
7. Программа инновационного развития ОАО «Концерн «НПО «Аврора» на период 2020-2024 гг. СПб.: ОАО «Концерн «НПО «Аврора», 2015. 236 с.
8. С. Н. Васильев. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению. I и II//Изв. РАН, Т и СУ. 2001. № 1. С. 5-22. № 2. С. 5-21.
9. Е. И. Юревич. Теория автоматического управления. СПб.: БХВ-Петербург 2016. 436 с.
10. И. М. Макаров, В. М. Лохин, С. В. Манько, М. П. Романов. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы. М.: Наука, 2006. 333 с.
11. А. А. Красовский. Автоматическая теория самоорганизующихся систем управления с высоким уровнем искусственного интеллекта//Изв. РАН, Т и СУ. 2000. № 6.
12. А. В. Тимофеев, Р. М. Юсупов. Интеллектуализация систем автоматического управления//Техническая кибернетика. 1994. № 5. С. 211-224.
13. Д. А. Поспелов. Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
14. Д. Э. Терехин, А. Ф. Тузовский. Системы ситуационного управления на основе технологий Semantic Web//Знания–онтологии–теории (ЗОНТ-15). <http://docplayer.ru/42423290-Sistemy-situacionnogo-upravleniya-na-osnove-tehnologiy-semantic-web.html>.
15. Дж. Клар. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
16. О. В. Шишов. Интеллектуальные датчики в системах промышленной автоматизации. В кн.: Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2021. 396 с.
17. Н. Ю. Лысов. Разработка и исследование быстродействующих интеллектуальных приводов мехатронных систем//Мехатроника. 2001. № 2. С. 35-43. № 4. С. 38-46.
18. И. М. Макаров и др. Новое поколение интеллектуальных регуляторов//Приборы и системы управления. 1997. № 3. С. 2-6.
19. М. В. Бураков, А. С. Конавалов. Конструирование интеллектуальных регуляторов//Информационно-управляющие системы. 2003. № 6. С. 25-32.
20. ГОСТ Р 8.673-2009 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 17 с.
21. В. М. Брандин. Размерностная сложность. Интеллект. М.: Физматлит, 2008. 168 с.
22. Л. В. Литвинцева, С. В. Ульянов. Интеллектуальные системы управления. I. Квантовые вычисления и алгоритм самоорганизации//Изв. РАН. ТиСУ, 2009. № 6. С. 69-97. II. Проектирование самоорганизующихся робастных БЗ в непредвиденных ситуациях управления//Изв. РАН. ТиСУ. 2011. № 2. С. 75-115.
23. С. В. Ульянов, В. Н. Добрынин, А. А. Мишин и др. Информационная технология проектирования робастных БЗ нечетких регуляторов. Ч. 1. Применение мягких вычислений//Эл. Ж «Системный анализ в науке и образовании». 2010. Вып. № 3. С. 1-21. Ч. 2//Эл. Ж «Системный анализ в науке и образовании». 2013. Вып. № 1. С. 1-22.
24. K. M. Passino. Toward bridging the perceived gap between conventional and intelligent control//In M. M. Gupta, N. K. Sinha (eds.). N. Y. Intelligent Control Systems. P. 3-27. IEEE Press, New York, 1996.
25. М. А. Панько, Э. К. Аракелян. Особенности нечетких алгоритмов регулирования в сравнении с классическими//Теплоэнергетика. 2001. № 10. С. 39-42.
26. С. М. Евсеенко. Подходы к автоматизации процессов планирования действий по борьбе за живучесть надводного корабля. В монографии «Автоматизация процессов БЖКС: ИАП БЖКС, эл. изд., 2015. С. 249-270.
27. А. В. Соколов. Информационно-поисковые системы. М.: Радио и связь, 1981. 152 с.
28. В. А. Береснев, С. М. Евсеенко. Семиотические модели для решения задач кораблестроения//Деп. ЦИВТИ МО, № Д13783Д, справка № 7832, 1983.
29. Ю. И. Клыков, Л. Н. Горьков. Банки данных для принятия решений. М.: СР, 1980. 208 с.
30. Д. А. Поспелов. Логико-лингвистические модели в системах управления. М., 1981. 232 с.
31. А. А. Ершов. Способ и оценка эффективности интеллектуализации разработки АСУ для сложных производственно-технических систем//Научное обозрение. Технические науки. 2014. № 1. С. 155-156. <http://science-engineering.ru/ru/article/view?id=221>.
32. Искусственный интеллект: Применение в интегральных производственных системах. М.: Машиностроение, 1991. 544 с.
33. Д. А. Ризванов, Е. С. Чернышев. Информационное и алгоритмическое обеспечение планирования производственных мощностей//Интеллектуальные системы в производстве, Ижевский ГТУ им. М. Т. Калашикова. 2020. Т. 18. № 4.

## References

1. S. M. Evseenko. Stages of development of artificial intelligence technologies and clarification of terminology//Innovations [Innovacii]. № 4. 2021. P. 39-48. 2021. (In Russian.)
2. Methodological guidelines for the development and updating of the IDP; on assessing the quality of the IDP development or updating; on the assessment of the quality of the IDP implementation by JScPO, state corporations, state-owned companies and federal state unitary enterprises (Approved by the IAC — Appendix no. 1 to the Protocol of October 25, 2019 № 34-D01). М.: Ministry of Economic Development of Russia, 2019. 28 p. (In Russian.)
3. Methodological materials for annual reporting on the IDP implementation by JScPO ... (With corrections approved by interagency working group — Appendix no. 1 to the minutes of December 21, 2020 № 23-D01). М.: Ministry of Economic Development of Russia, 2020. 52 p. (In Russian.)
4. V. V. Velichenko Principles of technical intelligence in the problem of managing complex economic systems//Intelligent systems, [Intellektual'nye sistemy]. 1997. Vol. 2. Ed. 1-4. P. 5-33. (In Russian.)
5. S. M. Evseenko, D. A. Skorokhodov. On the degree of mechanization and automation of organizational and technological processes on an enterprise and a vessel//Marine Intelligent Technology [Morskije intellektual'nye tehnologii]. 2013. № 3 (21). P. 44-50. (In Russian.)
6. S. M. Evseenko, D. A. Skorokhodov. On the degree of mechanization and automation of organizational and technological processes on an enterprise and a vessel//Marine Intelligent Technology [Morskije intellektual'nye tehnologii]. 2013. № 4 (22). P. 53-61. (In Russian.)
7. The program of innovative development of JSC «Concern» NPO «Aurora» for the period 2020-2024. SPb.: JSC «Concern» NPO «Aurora», 2019. 236 p. (In Russian.)
8. S. N. Vasiliev. From classic regulation tasks to intelligent control. I and II//Journal of the Russian Academy of Science [Izv. RAN, T i SU ]. 2001. № 1. P. 5-22. № 2. P. 5-21. (In Russian.)
9. E. I. Yurevich. Automatic control theory. SPb.: BHV-Peterburg, 2016. 436 p. (In Russian.)
10. I. M. Makarov, V. M. Lokhin, S. V. Manko, M. P. Romanov. Artificial intelligence and intelligent systems. М.: Science, 2006. 333 p. (In Russian.)
11. A. A. Krasovskiy. Automatic theory of self-organizing control systems with a high level of artificial intelligence//Journal of the Russian Academy of Science [Izv. RAN, T i SU ]. 2000. № 6. (In Russian.)
12. A. V. Timofeev, R. M. Yusupov. Intellectualization of automatic control systems//Technical Cybernetics [Tehnicheskaja kibernetika]. 1994. № 5. P. 211-224. (In Russian.)
13. D. A. Pospelov. Situational management. Theory and practice. М.: Science, 1986. 288 p. (In Russian.)
14. D. E. Terekhin, A. F. Tuzovsky. Systems of situational management based on Semantic Web technologies//Knowledge–Ontology–Theory [Znaniya–Ontologii–Teorii] (ZONT-15). <http://docplayer.ru/42423290-Sistemy-situacionnogo-upravleniya-na-osnove-tehnologiy-semantic-web.html>. (In Russian.)
15. G. J. Klir. Systemology. Automation of Systems Problem Solving. М.: Radio i Svyaz', 1990. 544 p. (In Russian.)
16. O. V. Shishov. Intelligent sensors in industrial automation systems. In Technical means of automation and control: a tutorial. М.: INFRA-M, 2021. 396 p. (In Russian.)
17. N. Yu. Lysov. Development and research of high-speed intelligent drives of mechatronic systems//Mekhatronika. 2001. № 2. P. 35-43. № 4. P. 38-46. (In Russian.)
18. I. M. Makarov et al. A new generation of intelligent controllers//Instruments and control systems [Pribory i sistemy upravlenija]. 1997. № 3. P. 2-6. (In Russian.)
19. M. V. Burakov, A. S. Konovalov. Design of intelligent controllers//Information and control systems [Informacionno-upravljajushhie sistemy]. 2003. № 6. P. 25-32. (In Russian.)
20. GOST P 8.673-2009 GSI (All Union State Standard GSI). Intelligent sensors and intelligent measuring systems. Basic terms and definitions. М.: Standartinform, 2009. 17 p. (In Russian.)

21. V. M. Brandin. Dimensional complexity. Intelligence. M.: Fizmatlit, 2008. 168 p. (In Russian.)
22. L. V. Litvintseva, S. V. Ulyanov. Intelligent control systems. I. Quantum computing and the self-organization algorithm//Journal of the Russian Academy of Science [Izv. RAN, T i SU]. 2009. № 6. P. 69-97. II. Designing self-organizing robust knowledge bases in unforeseen control situations//Journal of the Russian Academy of Science [Izv. RAN, T i SU]. 2011. № 2. P. 75-115. (In Russian.)
23. S. V. Ulyanov, V. N. Dobrynin, A. A. Mishin at al. Information technology of design of robust knowledge base of fuzzy controllers. Part 1: Applying Soft Computing//E-journal «Systems analysis in science and education». 2010. № 3. P. 1-21. Part 2//E-journal «Systems analysis in science and education». 2013. № 1. P. 1-22. (In Russian.)
24. K. M. Passino. Toward bridging the perceived gap between conventional and intelligent control//In M. M. Gupta, N. K. Sinha (eds.). N. Y. Intelligent Control Systems. P. 3-27. IEEE Press, New York, 1996.
25. M. A. Panko, E. K. Arakelyan. Features of fuzzy control algorithms in comparison with classical ones//Heat power engineering [Teplojenergetika]. 2001. № 1. P. 39-42. (In Russian.)
26. S. M. Evseenko. Approaches to automating the planning processes for the damage control of a surface vessel//Automation of the processes of fighting for the life of the ship or vessel [Avtomatizacija processov BZhKS: IAP BZhKS], digital edition, 2015. P. 249-270. (In Russian.)
27. A. V. Sokolov. Information search systems. Moscow, Radio i Svyaz', 1981, 152 p. (In Russian.)
28. V. A. Beresnev, S. M. Evseenko. Semiotic models for solving shipbuilding problems//Archive of Central Institute of Military-Technical Information of the Defence Ministry. № Д13783Д, note № 7832, 1983. (In Russian.)
29. Yu. I. Klykov, L. N. Gorkov. Databanks for decision making. M.: SR, 1980, 208 p. (In Russian.)
30. D. A. Pospelov. Logical and linguistic models in control systems. M., 1981. 232 p. (In Russian.)
31. A. A. Ershov. Method and Evaluation of the Efficiency of the Development Intellectualization of ACS for Complex Industrial and Technical Systems//Scientific Review Technical science [Nauchnoe obozrenie. Tehnicheskie nauki]. 2014. № 1. P. 155-156. <http://science-engineering/ru/ru/article/view?id=221>. (In Russian.)
32. Artificial Intelligence: Application in Integrated Manufacturing Systems. M.: Mashinostroenie, 1991. 544 p. (In Russian.)
33. D. A. Rizvanov, E. S. Chernyshev. Information and algorithmic support for planning production facilities//Intelligent systems in production, State Technological University of Izhevsk in honor of M. T. Kalashnikov. 2020. Vol. 18. № 4. (In Russian.)