

**ПРИНЦИПЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ  
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ САМООРГАНИЗАЦИИ**

**Берман Александр Фишелевич**

Д.т.н., г.н.с., e-mail: [berman@icc.ru](mailto:berman@icc.ru)

**Николайчук Ольга Анатольевна**

Д.т.н., с.н.с., e-mail: [nikoly@icc.ru](mailto:nikoly@icc.ru)

**Юрин Александр Юрьевич**

К.т.н., зав. лабораторией «Информационных технологий исследования природной и техногенной безопасности», e-mail: [iskander@icc.ru](mailto:iskander@icc.ru)

**Павлов Александр Иннокентьевич**

К.т.н., с.н.с., e-mail: [asd@icc.ru](mailto:asd@icc.ru)

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН,  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134

**Аннотация.** Проблема обоснования свойств сложных технических систем, является междисциплинарной, так как требует применения знаний практически всех общетехнических и специальных инженерных дисциплин, некоторых разделов физики, химии и психологии, а также методов и средств математического моделирования и информационных технологий. Одним из перспективных методов создания моделей таких систем является применение принципов самоорганизации, как отражающих действия коллектива исследователей, так и использующих соответствующие переменные и параметры, характеризующие динамику состояния объекта. В работе предлагается описать основные принципы информационной технологии исследования безопасности, где формирование решений (моделирование) осуществляется на основе самоорганизующегося алгоритма, реализующего взаимодействие «решателей» дисциплинарных и междисциплинарных задач различной компетенции и специализации.

**Ключевые слова:** междисциплинарная задача, онтология, компоненты, модельно-управляемый подход, согласование знаний экспертов, групповое принятие решений, самоорганизация.

**Цитирование:** Берман А.Ф., Николайчук О.А., Юрин А.Ю., Павлов А.И. Принципы информационной технологии решения междисциплинарных задач обеспечения техногенной безопасности на основе самоорганизации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). С. 5–15. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-2-01

**Введение.** Обоснование техногенной безопасности создаваемых и эксплуатируемых опасных промышленных объектов (ОПО) остается актуальной проблемой, решение которой требует обработки огромных объемов данных и знаний различных научных, технических и научно-технических дисциплин [7, 8]. Причем для некоторых совокупностей данных и знаний, принадлежащих различным дисциплинам, не определены типы связей (отношений,

закономерностей), что затрудняет формулировку как дисциплинарных, так и междисциплинарных целей и может являться одной из причин недостаточно корректной постановки междисциплинарных задач. Кроме того, на стадии создания всегда имеет место некоторая неопределенность прочностной, ресурсной и структурной надежности и безопасности вследствие несовершенства и нарушения методов и средств создания объектов, невозможности достаточно адекватных испытаний элементов и компонентов сложных уникальных ОПО, что приводит к внезапным отказам. Вследствие этих ограничений рассматриваемая проблема является междисциплинарной и неопределенной, не имеет общего аналитического решения, характеризуется высокой вычислительной сложностью и для ее решения используются разнообразные эвристические алгоритмы.

Для решения поставленной проблемы актуальной является разработка информационной технологии, обеспечивающей работу коллектива специалистов (экспертов) из различных дисциплин для решения междисциплинарных задач (МДЗ) обеспечения техногенной безопасности, удовлетворяющая следующим требованиям:

- наличие общего информационного, математического, методологического и программного пространства;
- обеспечение взаимодействия специалистов из различных дисциплин;
- наличие различных возможностей согласования мнений групп экспертов;
- возможность обработки гетерогенной информации различного уровня структуризации;
- возможность использования гетерогенного программного обеспечения (открытых программных кодов, сторонних программ, собственных разработок, гибридных систем и др.);
- понижение квалификационных требований для специалистов-предметников в областях программирования и методов представления и обработки знаний до уровня взаимодействия с программной системой в терминах предметной области;
- осуществление максимальной поддержки принятия решений на всех этапах решения задач;
- повышение степени автоматизации и адаптивности управления процессом решения задачи.

Перечисленные требования к технологии обеспечиваются на основе следующих принципов и соответствующим им подходов:

- обеспечение общего пространства – на основе онтологического моделирования,
- организация взаимодействия специалистов – на основе применения методов группового принятия решений,
- использование гетерогенного информационного и программного обеспечения – при поддержке принципа разделения методов представления и обработки информации, реализация которого будет осуществлена на основе компонентного и модельно-ориентированного подходов,
- поддержка принятия решений – путем применения методов обработки знаний (например, экспертных систем),
- автоматизация и адаптивность управления – на основе самоорганизующихся алгоритмов.

Рассмотрим подробнее особенности каждого из подходов в аспекте применения для разрабатываемой технологии.

**Онтология.** Предлагаемая модель онтологии использует понятия онтологий предметной и проблемной областей [3, 12, 13]. Для описания аспекта междисциплинарности задач предлагается использовать онтологию дисциплин, где отражена информация, относящаяся к рассматриваемой дисциплине, ее понятия, закономерности, задачи. Модели проблемной области охватывают знания о способах решения разнообразных типов задач. При этом для эффективного решения каждой задачи предусмотрено адекватное представление данных и знаний, а также алгоритмов, реализующих решение. Подобная модель онтологии позволяет описать иерархию задач, методы их решения и программное обеспечение («решатели»), реализующее данные методы, разделяя информацию на предметно-зависимую и предметно-независимую, что обеспечивает требуемые свойства адаптивности программной системы, а также возможности взаимодействия специалистов и системы в терминах предметных областей.

**Групповое принятие решений.** Необходимость объединения усилий экспертов из самых различных предметных областей (дисциплин) при постановке и решении междисциплинарных задач обуславливает актуальность задачи согласования их мнений (знаний). Задача согласования мнений относится к типичной задаче теории принятия решений, когда необходимо коллективом выделить один или несколько лучших объектов (элементов постановки задачи), характеризуемых многими разнородными признаками. Существует сравнительно немного методов группового упорядочения многопризнаковых объектов [10]. Отметим методы вербального анализа решений, которые решают слабоструктурируемые проблемы выбора, где предпочтения нескольких ЛПР могут быть несогласованными и которые позволяют: получать информацию от экспертов на привычном для их профессиональной деятельности языке; использовать нечисловую информацию без каких-либо ее преобразований в числовую; проверять согласованность суждений ЛПР и устранять выявленные противоречия; объяснять полученное решение [10].

Организация процесса обсуждения может быть осуществлена как при личном общении, так и дистанционно, на основе использования различных методов/процедур ведения дискуссии, которые будут предлагаться системой (выбираться координатором/модератором) в зависимости от успеха решения задач, психологического состояния коллектива и т.д. Среди процедур можно выделить: процедуру «парных взаимодействий», «последовательную» процедуру, процедуру «качественной обратной связи» и др. [16].

На данном этапе выделены три вида возможных несогласованностей/неполноты:

- неполнота данных, которая возникает тогда, когда специалист другой дисциплины, не участвующий ранее в формировании задачи, считает, что при формулировке задачи не учтены некоторые дополнительные данные;
- неполнота знаний, которая возникает тогда, когда специалисты других дисциплин считают, что при формулировке задачи не учтены некоторые закономерности аналитического или другого вида;
- неполнота методов, которая возникает тогда, когда специалист другой дисциплины считает, что при решении задачи могут быть использованы другие возможные методы ее решения.

Авторами в рамках рассматриваемой технологии предложен метод разрешения неполноты на основе методов группового выбора [2].

**Компонентный подход.** Предметно-независимая методологическая часть обеспечения предлагаемой технологии может содержать различные алгоритмы, например, алгоритмы поиска, адаптации, сохранения прецедентов и т.п., а также методы реализации проблемно-ориентированной специфики решаемых задач. Данное представление позволяет выделить типовую функциональность, которая реализуется на основе конечного множества операций. Эти операции могут быть сгруппированы в интерфейсы, которые должны быть реализованы соответствующими программными средствами (компонентами), что обуславливает применение компонентного подхода [9, 15] для реализации технологии.

**Модельно-ориентированный подход.** Подход Model Drive Development, MDE/MDD/MDA – направление в области программной инженерии, предполагающее разработку программных систем на основе трансформации и интерпретации информационных моделей [14]. В рамках данного подхода процесс разработки программного обеспечения представляет собой последовательное преобразование моделей, с разным уровнем детализации, где на завершающем этапе генерируется исходный код программы [17]. При этом основное внимание разработчиков обращено на формирование метамodelей структуры обрабатываемых данных и алгоритмов их обработки.

В рамках рассматриваемой технологии MDD-подход обеспечивает создание интеллектуальных программных компонентов («решателей»), являющихся программным обеспечением для решения сформулированных задач. Среди этих компонентов в настоящее время нами выделяются продукционные и прецедентные экспертные системы, хотя этот список может быть расширен в дальнейшем.

Использование модельно-управляемого подхода позволяет повысить степень автоматизации, снизить квалификационные требования в области программирования для потенциальных пользователей, уменьшить сроки создания (за счет исключения этапа концептуализации и сокращения этапа тестирования) и возможность повторного использования интеллектуальных компонентов («решателей») за счет унификации представления их элементов в виде моделей. MDD в сочетании с компонентным подходом позволяет разделить информационное (в широком смысле) и алгоритмическое обеспечение и создать условия для их независимой разработки и повторного использования каждого.

**Самоорганизация.** В настоящее время разработаны некоторые методы и модели искусственной самоорганизации для формирования согласованных решений и управления сложными и взаимодействующими объектами [2, 5, 6]. Искусственная самоорганизация как процесс представляет собой автоматическую смену (адаптацию) программы действия (алгоритм принятия решений) при изменении свойств управляемого объекта, цели управления или параметров окружающей среды. Как следует из работ [6, 11], систему можно считать самоорганизующейся, если она без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру.

Предлагается решение междисциплинарной задачи осуществлять на основе самоорганизующегося алгоритма, реализующего процесс взаимодействия «решателей» дисциплинарных и междисциплинарных задач различной компетенции и специализации [2]. Механизм самоорганизации состоит в том, что из «решателей» каждый раз создается новая вычислительная структура в зависимости от объекта исследования, выбранной

пользователем модели задачи, исходных данных, характеризующих свойства объекта, воздействующие факторы и т.д. Вычислительная структура определяется собственным информационным пространством, включающим онтологию предметной и проблемной областей, баз данных и знаний, а также программное обеспечение, состоящее из вычислительных модулей и экспертных систем («решателей»).

За формирование модели МДЗ и ее решение отвечает «интеллектуальный планировщик» [2], который осуществляет мониторинг состояния задачи и генерирует план решения на основе значений индикаторов (потенциальных функций), характеризующих состояние текущей задачи, и локальных правил, являющихся основой самоорганизующегося поведения. В данном случае, план – это описание организации взаимодействия «решателей» с указанием направления потока данных. Отметим, что «продвижение» по данному плану в процессе решения МДЗ (on-line решение) также может быть откорректировано планировщиком с учетом значений индикаторов.

**Концептуальные этапы технологии.** Технология состоит из двух стадий: первая – описание предметно- и проблемно-ориентированной информации с помощью предлагаемых инструментальных средств и, как следствие, создание предметно-ориентированного инструментального средства, вторая – собственно применение данного инструментального средства для решения междисциплинарных задач.

Перечислим этапы первой стадии предлагаемой технологии:

1) постановка междисциплинарной задачи; данный этап осуществляется руководителем/координатором задачи с использованием средства онтологического моделирования;

2) определение коллектива экспертов; на данном этапе осуществляются выбор и оценка компетентности экспертов; оценка эксперта выполняется на основе индивидуальных характеристик, параметров текущей деятельности и оценки компетентности [16];

3) создание онтологии междисциплинарной задачи (предметной и проблемной онтологий) [12]; осуществляется описание иерархии задач и их компонентов, согласно предложенной модели онтологии с использованием соответствующих методов извлечения знаний [1]; в таблице 1 представлен пример иерархии задач (рис. 1);

4) описание математических/вычислительных моделей, баз знаний, методов решения (информационное, математическое, интеллектуальное и методологическое обеспечение); осуществляется согласно предложенной модели онтологии, затем следует его создание на основе модельно-управляемого подхода и разработанных авторами методов извлечения знаний из концептуальных моделей [4], а также реализация в виде компонентов;

5) создание «решателей», в том числе на основе стороннего программного обеспечения и модельно-управляемого подхода с использованием предлагаемых авторами инструментальных средств [18];

6) согласование знаний (разрешение неполноты данных, знаний, информации о методах) на основе предложенного метода [2].

Этапы второй стадии:

1) определение исходных данных междисциплинарной задачи;

2) моделирование (решение междисциплинарной задачи) на основе самоорганизующегося алгоритма [2];

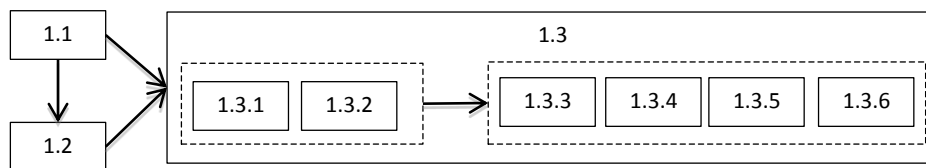
3) оценка результатов решения.

Таблица 1. Структура междисциплинарной задачи

| Дисциплина  | Название задачи                                   | Входные данные  | Выходные данные   | Модель, метод   |
|---|---|---|---|---|
| Междисциплинарная задача<br>1. Обеспечить прочностную надежность элементов (деталей) сложных опасных объектов |   |   |   |   |
| Сопrotивление материалов  | 1.1. Расчет напряженно-деформированного состояния | Механические нагрузки, МПа: статические; переменные; динамические.  | Компоненты напряженного состояния; комплексная компонента напряженного состояния.   | Модели механики сплошных сред. Эмпирическая модель расчетной схемы. Выч. метод решения. |
| Материаловедение  | 1.2. Выбор материала                              | Вид и тип нагрузок; температурные воздействия; воздействующие среды.  | Марка материала; свойства материала: предел прочности; предел текучести; предел усталости и др.   | Эмпирические модели. Экспертные методы решения.   |
| Междисциплинарная задача  | 1.3. Расчет прочности и ресурса                   | Коэффициенты запаса: коэффициент абсолютных размеров сечения, концентрации напряжений, влияния среды; качества плавки и др. | Размеры элемента (детали) и коэффициенты запаса прочности по всем критерия.   | Эмпирические методы. Эвристические методы. Экспертные методы.                           |
| Технология металлов   | 1.3.1. Выявить металлургич-ю наследствен-ть       | Возможные дефекты плавки или обработки давлением или термообработки.  | Оценить снижение коэф-ов запаса при возможных и пропущенных металлургических дефектах.  | Эмпирические методы. Эвристические методы.  |
| Технология машиностроения и др.   | 1.3.2. Выявить технологич-ю наследствен-ть        | Возможные дефекты изготовления или восстановления работоспособности.  | Оценить снижение коэффициентов запаса при возможных и пропущенных технологических дефектах.   | Экспертные методы.  |
| Детали машин  | 1.3.3. Расчет на статическую прочность            | Технические требования по коэф. запаса на статическую прочность. Обоснование коэф. запаса.                                  | Размеры детали по данному критерию. Фактический коэф. запаса прочности при статическом нагружении или величина предельной нагрузки.                                     |   |
|   | 1.3.4. Расчет на циклическую прочность            | Технические требования по коэф. запаса на циклическую прочность. Обоснование коэф. запаса.                                  | Размеры детали по данному критерию. Фактический коэф. запаса прочности при циклич. нагружении или максимально-допустимая амплитуда нагрузки.                            |   |
|   | 1.3.5. Расчет ресурса                             | Технические требования по коэффициентам запаса на ресурс при переменных нагрузках. Обоснование коэффициентов запаса.        | Размеры детали по данному критерию. Фактический коэф. запаса ресурса при переменных нагрузках или максимально-допустимая амплитуда нагрузки или коэф. асимметрии цикла. |   |
|   | 1.3.6. Расчет на хрупкое разрушение               | Технические требования по критерию «Вязкость разрушения».   | Размеры детали или материал по данному критерию. Фактический коэф. запаса.  |   |

Результат решения задачи или ее подзадач может быть неудовлетворительным. В этом случае вновь реализуется самоорганизация процесса решения задачи. В частности, на основе знаний, содержащихся в специальных экспертных системах, отвечающих за поддержку

процесса решения задач, формируется новая последовательность этапов решения: определяется, какие задачи должны быть решены с новыми условиями, какие вопросы необходимо задать экспертам или какие рекомендации сформулировать, чтобы определить новые условия задач.



**Рис. 1.** Последовательность решения задач, перечисленных в таблице 1

Например, база знаний поддержки решения задачи 1 (см. табл.) содержит следующие правила: если получено неудовлетворительное решение на двух и более этапах задачи 1, то необходимо изменить условия подзадачи 1.2 (выбор материала); если получено неудовлетворительное решение на одном этапе задачи 1, то необходимо изменить условия задачи 1.3.1 (выбор технологии); если изменение условий задачи 1.2 не позволяет получить удовлетворительное решение, то изменяются условия задачи 1.1 (изменение расчетной схемы или конструкции); если необходимо изменить условия задачи 1.2 и получено неудовлетворительное решение задачи 1.3.3, то необходимо увеличить предел прочности; если необходимо изменить условия задачи 1.2 и получено неудовлетворительное решение задачи 1.3.4, то необходимо увеличить предел текучести; если необходимо изменить условия задачи 1.2 и получено неудовлетворительное решение задачи 1.3.5, то необходимо увеличить предел усталости; если необходимо изменить условия задачи 1.2 и получено неудовлетворительное решение задачи 1.3.6, то необходимо увеличить коэффициент вязкости разрушения или отношение предела прочности к пределу текучести и др.

Таким образом, после определения способов изменения исходных данных возобновляется первая стадия технологии, могут быть запущены любые из этапов 3-6.

**Заключение.** В статье рассмотрены основные принципы, подходы и концептуальные этапы информационной технологии решения междисциплинарных задач. Принципы информационной технологии включают совмещение онтологического представления знаний, группового принятия решений, компонентного и модельно-ориентированного подходов, обеспечивающих реализацию самоорганизующегося алгоритма исследования.

В дальнейшем планируются реализация данной технологии и ее применение для решения задач проектирования уникальных механических систем, эксплуатируемых на опасных промышленных объектах.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ №№18-07-01164, 18-08-00560, 19-07-00927.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. Метод приобретения мультидисциплинарных знаний на основе онтологии // Седьмая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», САИТ – 2017 (13-18 июня 2017 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. М.: ИСА РАН. 2017. Т1. С. 295–302.

2. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. Самоорганизующийся алгоритм формирования решений для обеспечения требуемого технического состояния сложных опасных объектов // Седьмая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии», САИТ – 2017 (13-18 июня 2017 г., г. Светлогорск, Россия): Труды конференции. В 2-х т. М.: ИСА РАН. 2017. Т1. С. 377–384.
3. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. Спб.: Из-во «Лань». 2016.
4. Дородных Н.О., Юрин А.Ю. Web-сервис для автоматизированного формирования продукционных баз знаний на основе концептуальных моделей // Программные продукты и системы. 2014. №4. С. 103–107.
5. Каляев И.А., Каляев А.И., Коровин Я.С. Принципы организации и функционирования безлюдного роботизированного производства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Том 17. №11. С. 741–749.
6. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН. 2014. 189 с.
7. Махутов Н.А. Критериальная база прочности, ресурса, надежности, живучести и безопасности машин и человеко-машинных комплексов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 5. С. 25–36.
8. Махутов Н.А., Берман А.Ф., Николайчук О.А. Некоторые принципы самоорганизации для управления риском техногенных катастроф // Проблемы анализа риска. 2015. Том 12. № 4. С. 34–45.
9. Николайчук О.А., Павлов А.И. Применение компонентного подхода для создания системы автоматизации исследований // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 4 (70). С. 23–32.
10. Петровский А.Б. Теория принятия решений. М.: Издательский центр «Академия». 2009. 400 с.
11. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. Пер. с англ. Изд. 3. М.: УРСС: ЛЕНАНД. 2014. 320 с.
12. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I. The Ontology Model for Automating the Solution of Multidisciplinary Research Tasks // Proc. the V Intern. Workshop Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security (IWCI 2018). 2018. Vol. 158. Pp. 1–6.
13. Chandrasekaran B., Josephson J.R., Benjamins V.R. Ontology of Tasks and Methods // IEEE Intelligent Systems. 1998. 14(1). Pp. 20–26.
14. Cretu L.G., Florin D. Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press. 2014.
15. George T. Heineman, William T. Councill (2001). Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together. Addison-Wesley Professional, Reading, 2001.
16. Gubanov D., Korgin N., Novikov D., Raikov A., E-Expertise: Modern Collective Intelligence. / Series: Studies in Computational Intelligence. vol. 558. Springer International Publishing, 2014. pp. 112.
17. Stahl T., Völter M., Efftinge S. Modellgetriebene Softwareentwicklung. Techniken, Engineering, Management. Heidelberg, Dpunkt-Verlag. 2007



18. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Grishenko M.A. Designing rule-based expert systems with the aid of the model-driven development approach // Expert Systems. 2018. Vol. 35. №5.
- 

**UDK 004.942:004.4'2:004.891**

**PRINCIPLES OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR SOLVING  
INTERDISCIPLINARY PROBLEMS OF TECHNOGENIC SAFETY PROVISION  
ON THE BASIS OF SELF-ORGANIZATION**

**Alexander F. Berman**

D.Sc., Professor, e-mail: berman.icc.ru

**Olga A. Nikolaychuk**

D.Sc., e-mail: nikoly.icc.ru

**Alexander Yu. Yurin**

PhD., Head. Laboratory of Information technology for investigation of techno-genic safety,  
e-mail: iskander@icc.ru

**Alexander I. Павлов**

PhD., e-mail: Asd@icc.ru

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian  
Academy of Sciences (ISDCT SB RAS) 134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The problem of substantiating the properties of complex technical systems has an interdisciplinary character because of it requires the application of knowledge of all general technical and special engineering disciplines, some branches of physics, chemistry and psychology, as well as methods and means for mathematical modeling and information technologies. One of the promising methods for creating relevant models for this problem is the use of the principles of self-organization reflecting both the actions of a team of researchers, and using appropriate variables and parameters characterizing the dynamics of the state of an object. The paper proposes to describe the basic principles of an information technology for creating a self-organizing safety research system, where decision making (modeling) is based on a self-organizing algorithm that implements the interaction of “solvers” of disciplinary and interdisciplinary tasks of different competencies and specializations.

**Keywords:** interdisciplinary task, ontology, components, model-driven approach, coordination of expert knowledge, group decision making, self-organization

**References**

1. Berman A.F., Nikolajchuk O.A., Pavlov A.I. Metod priobreteniya mul'tidistsiplinarnykh znaniy na osnove ontologii [Method of acquiring multidisciplinary knowledge based on ontology] // Sed'maja mezhdunarodnaja konferencija «Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii», SAIT – 2017 (13-18 ijunja 2017 g., g. Svetlogorsk, Rossija): Trudy konferencii = Proceedings of the

- conference "System Analysis and Information Technologies". Moscow. ISA RAN Publ. 2017. v1. Pp. 295–302. (in Russian)
2. Berman A.F., Nikolajchuk O.A., Pavlov A.I. Samoorganizuyushchiysya algoritm formirovaniya resheniy dlya obespecheniya trebuyemogo tekhnicheskogo sostoyaniya slozhnykh opasnykh ob"yektov [Self-organizing solution formation algorithm to ensure the required technical condition of complex hazardous objects] // Sed'maja mezhdunarodnaja konferencija «Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii», SAIT – 2017 (13-18 iyunja 2017 g., g. Svetlogorsk, Rossiya): Trudy konferencii = Proceedings of the conference "System Analysis and Information Technologies". Moscow. ISA RAN Publ. 2017. v1. Pp. 377–384. (in Russian)
  3. Gavrilova T.A., Kudrjavcev D.V., Muromcev D.I. Inzhenerija znanij. Modeli i metody [Knowledge Engineering. Models and methods]. St. Petersburg. «Lan'» Publ. 2016. (in Russian)
  4. Dorodnyh N.O., Jurin A.Ju. Web-servis dlya avtomatizirovannogo formirovaniya produkcionnykh baz znanij na osnove kontseptual'nykh modeley [Web service for automated generation of production knowledge bases based on conceptual models] // Programmnye produkty i sistemy = Software products and systems. 2014. No 4. Pp. 103–107. (in Russian)
  5. Kaljaev I.A., Kaljaev A.I., Korovin Ja.S. Printsipy organizatsii i funkcionirovaniya bezlyudnogo robotizirovannogo proizvodstva [Principles of organization and functioning of deserted robotic production] // Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie = Mechatronics, automation, control. 2016. v 17. No 11. Pp. 741–749. (in Russian)
  6. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V. Gibridnye intellektual'nye sistemy s samoorganizaciej: koordinacija, soglasovannost', spor [Hybrid Intelligent Systems with Self-Organization: Coordination, Consistency, Dispute]. Moscow. IPI RAN Publ. 2014. 189 p. (in Russian)
  7. Mahutov N.A. Kriterial'naya baza prochnosti, resursa, nadezhnosti, zhivuchesti i bezopasnosti mashin i cheloveko-mashinnykh kompleksov [Criterion base of strength, resource, reliability, survivability and safety of machines and man-machine complexes] // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin = Problems of mechanical engineering and reliability of machines. 2013. No 5. Pp. 25–36. (in Russian)
  8. Mahutov N.A., Berman A.F., Nikolajchuk O.A. Nekotoryye printsipy samoorganizatsii dlya upravleniya riskom tekhnogennykh katastrof [Some principles of self-organization to manage the risk of man-made disasters] // Problemy analiza riska = Risk analysis problems. 2015. v 12. No 4. Pp. 34–45. (in Russian)
  9. Nikolajchuk O.A., Pavlov A.I. Primeneniye komponentnogo podkhoda dlya sozdaniya sistemy avtomatizatsii issledovaniy [Using the component approach to create a research automation system] // Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij = Vestnik of Computer and Information Technologies. 2010. No 4 (70). Pp. 23–32. (in Russian)
  10. Petrovskij A.B. Teorija prinjatija reshenij [Decision making theory]. Moscow. Publishing Center «Akademija». 2009. 400 p. (in Russian)
  11. Haken G. Informacija i samoorganizacija: Makroskopicheskiy podhod k slozhnym sistemam [Information and self-organization: a macroscopic approach to complex systems]. Moscow. URSS: LENAND Publ. 2014. 320 p. (in Russian)

12. Berman A.F., Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I. The Ontology Model for Automating the Solution of Multidisciplinary Research Tasks // Proc. the V Intern. Workshop Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security (IWCI 2018). 2018. Vol. 158. Pp. 1–6.
13. Chandrasekaran B., Josephson J.R., Benjamins V.R. Ontology of Tasks and Methods // IEEE Intelligent Systems. 1998. 14(1). Pp. 20–26.
14. Cretu L.G., Florin D. Model-Driven Engineering of Information Systems: Principles, Techniques, and Practice. Apple Academic Press. 2014.
15. George T. Heineman, William T. Councill (2001). Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together. Addison-Wesley Professional, Reading. 2001.
16. Gubanov D., Korgin N., Novikov D., Raikov A., E-Expertise: Modern Collective Intelligence // Series:Studies in Computational Intelligence. vol. 558. Springer International Publishing. 2014. Pp. 112.
17. Stahl T., Völter M., Efftinge S. Modellgetriebene Softwareentwicklung. Techniken, Engineering, Management. Heidelberg, Dpunkt-Verlag. 2007
18. Yurin A.Yu., Dorodnykh N.O., Nikolaychuk O.A., Grishenko M.A. Designing rule-based expert systems with the aid of the model-driven development approach // Expert Systems. 2018. Vol. 35. No 5.