

N. N. Popov, V. M. Abramov, L. V. Alexandrova, V. G. Burlov
Russian state hydrometeorological university

V. V. Romantsev
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

G. N. Tkachenko
REC ETU SEC JSC

A. N. Popova
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF GEOINFORMATION SUPPORT FOR MAPPING OF AREA OBJECTS IN THE ARCTIC USING NON-CONTACT METHODS

An important task in remote areas of the Arctic is a mapping of various site objects with their subsequent classification. An example is the mapping of sea-ice fields of different ages in the interests of operational geoinformation support of navigation along the Northern Sea Route. The described mapping in the Arctic is expedient to be solved with the help of non-contact methods, including remote sensing of the Earth. The main sources of non-contact data are the satellite systems Sentinel-1, Landsat7, Landsat8 and MODIS. Features of their application and imposed restrictions are described. As the main source of data, the satellite system Sentinel-1 was chosen, capable of probing the underlying surface under any light and weather conditions, which is especially important when observed during the polar night or in cloud conditions. As a supplement, Landsat7, Landsat8 and MODIS systems were considered, the data of which are able to fill the missing time sections of a single circuit, ensuring continuity of observation over the water area. The analysis of the databases of these systems is given.

Geoinformation support, remote sensing of the Earth, Landsat, Sentinel

УДК 004.822

С. В. Власенко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Формирование модельного базиса интеллектуальных платформ цифровых производств с использованием аппарата концептуальных графов

Рассматривается один из возможных технологических подходов к формированию интеллектуальных платформ цифровых производств на базе использования теории систем, основанных на знаниях. Специфической особенностью подхода является применение моделей знаний предлагаемых видов в качестве структурной основы единого модельного базиса, обрабатываемого в среде цифрового производства. На основании анализа ряда общих особенностей развития современных технологий Industry 4.0 и интернета вещей обосновывается эффективность подобных технологических нововведений, позволяющих на качественном уровне расширить круг функциональных задач, решаемых средствами платформ цифрового производства, а также повысить степень универсальности соответствующего информационно-программного инструментария. Отдельным предметом рассмотрения является выбор наиболее подходящего класса моделей знаний, принимаемого (в качестве базового) в рамках подхода. Основное внимание при этом уделяется одной из разновидностей сетевых моделей знаний – классу концептуальных графов, который обладает рядом преимуществ, имеющих особое значение в выбранной проблемной области.

Цифровое производство, Industry 4.0, интернет вещей, интеллектуальные системы, модели знаний, концептуальные графы

Текущий этап развития отечественных технологий цифрового производства характеризуется, в первую очередь, качественно новым уровнем го-

сударственной поддержки научно-технических исследований и разработок в соответствующих предметных областях, о чем, в частности, непо-

средственно свидетельствует начало реализации в 2017 г. масштабной национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Только по направлению данной программы «Формирование исследовательских компетенций и технологических заделов» (в рамках которого, в том числе, будут выполняться такие комплексные проекты, как «Создание облачной платформы для промышленного интернета вещей», «Платформа промышленного интернета вещей», «Программная платформа повышения эффективности производства» и др.) в ближайшие 3 года будет выделено более 48 млрд р. бюджетного финансирования. Неуклонно растет и интерес российских частных компаний и инвесторов к проблематике «цифровизации». По мнению аналитиков IDC, Ростех и ряда др. аналитических центров, за те же 3 года в России прогнозируется приблизительно трехкратный (до 270 млрд р.) рост рынка продуктов и услуг в сфере промышленного интернета вещей (IIoT – Industrial Internet of Things). Указанные обстоятельства вполне подтверждают общий вывод о том, что в настоящее время имеются все необходимые предпосылки для развития инициативных исследований по целому ряду научных направлений, связанных с тематикой цифровых производств. Одним из таких направлений, безусловно, является приложение концепций искусственного интеллекта и, в частности, интеллектуальных систем, основанных на знаниях, в задачах разработки перспективных технологий и программных платформ IIoT.

Исходно следует отметить, что понятия «платформа цифрового производства» (или «предприятия»), как и «платформа промышленного интернета вещей», на данный момент не могут считаться точно определенными и общепринятыми техническими терминами. Весьма показательны в этом смысле и значительные системные различия решений ведущих компаний, работающих в сфере цифровых производств и IIoT, – Microsoft, IBM, Intel, Oracle, Siemens, GE, Rockwell, PTC, Cisco, Apple, Amazon, Google и др. Тем не менее, анализ наиболее развитых в функциональном отношении платформ, которые с полным правом могут быть отнесены к классу «платформ цифрового производства» (Digital Manufacturing Platform – DMP) (например, Predix от GE, ThingWorx от PTC, MindSphere от Siemens и т. п.), позволяет выделить несколько определяющих характерных особенностей систем данного типа. Среди них наиболее важными в контексте настоящей статьи, вероятно, можно считать следующие:

- наличие в номенклатуре функциональных возможностей поддержки решения задач управления уровнями АСУ ТП и АСУП в реальном времени;

- обеспечение работы с киберфизическими системами и объектами в составе интегрированной программной и информационной среды цифрового предприятия/производства, а также поддержка технологий «цифровых двойников»;

- наличие средств AEP (Application Enablement Platform – платформа обеспечения работы приложений) и ADP (Application Development Platform – платформа разработки приложений). При этом под AEP, как правило, подразумевается интерфейсный слой платформы, обеспечивающий возможность работы с хранилищем данных (Data Store – DS) платформы для различных проблемно-ориентированных приложений верхних уровней иерархии управления предприятием/производством/компанией (средства анализа BigData, включая BI и DataMining, средства машинного обучения, планирования, прогнозирования, бизнес-моделирования, поддержки принятия решений, предиктивного управления ресурсами, визуализации данных и т. д.), а также корпоративных информационных систем различного назначения и уровня интеграции (от уровня SCM, CRM, PLM и т. п. до уровня ERP включительно);

- использование специализированных экосистем распределенного хранения и обработки данных, на базе которых реализуются функции интегрированных хранилищ данных, моделей, программных компонентов и т. д. Следует отметить, что в данном случае не важны конкретные схемы реализации функций хранения и доступа к данным (выделенные серверы, облачные/росистые/туманные ресурсы, гибридные схемы и т. д.), а также соответствующих сервисов их обработки. Важен лишь сам факт логической и структурной интеграции разнородной информации, используемой при решении разнообразных функциональных задач в среде единого цифрового производства (предприятия);

- поддержка технологий IoT на уровне базовых компонентов платформы и «прямых» интерфейсов интегрированного хранилища данных цифрового производства;

- наличие средств, позволяющих адаптировать модельный базис с целью поддержки решения задач слоя «технического проектирования» (инженерного, конструкторского и программного проектирования, математического и имитационного моделирования, подготовки и документационного обеспечения производства и т. п.).

Относительно распределения поддерживаемых функций в общей архитектуре рассматриваемых платформ уместно заметить, что целый ряд проблемно-ориентированных приложений, перечисленных при анализе свойств АЕР-компонентов, в большинстве случаев непосредственно реализуется самим разработчиком DMP и, соответственно, практически входит в состав самой платформы, «нивелируя» слой АЕР и оставаясь при этом относительно «закрытым» продуктом.

Приведенное ранее описание обсуждаемого класса программных платформ позволяет более точно определить возможное позиционирование «интеллектуальных» компонентов (различного профиля) в общей структуре современных и перспективных DMP.

На основании анализа ряда открытых источников информации обзорно-аналитического плана ([1]–[3] и др.) и материалов по продуктам ведущих компаний-разработчиков (GE, Siemens, PTC, Rockwell, Yokogawa, Honeywell, Wonderware, Bosh, Emerson и др.), включая отечественные частные компании, госкорпорации и организации, специализирующиеся на разработке узкопрофильных интеллектуальных приложений в сфере Industry 4.0 и IoT («Цифра», «Инфотех Груп», «Техносерв» и др.) и комплексных интеллектуальных решений (а также средств их проектирования) в области промышленной автоматизации в целом (ИПУ РАН, Ростех и др.), представляется возможным сделать, помимо прочих, следующие выводы, имеющие значение для последующего изложения:

- зонами основного внимания в задачах интеллектуализации цифровых предприятий/производств по-прежнему остаются 3 основных слоя программных и аппаратно-программных систем и средств:

- слой «умных» конечных устройств;
- слой «умных» систем и комплексов средств промышленной автоматизации нижнего уровня иерархии управления технологическими и производственными процессами;
- проблемно-ориентированные приложения, оперирующие информацией, опосредованно полученной из единого хранилища данных DMP или из независимых от платформы источников;

- современные решения класса DMP практически не используют в среде единых хранилищ данных и в общем модельном базисе каких-либо баз знаний или иных компонентов, которые мож-

но было бы отнести к категории моделей знаний. Как следствие, компоненты слоев АЕР и ADP не предоставляют пользователям и внешнему программному окружению действительно «интеллектуального» функционала или реализуют его в отрыве от общих, системно целостных информационных ресурсов платформы;

- функциональность «умных» технических средств, комплексов и систем нижних уровней управления производством (даже в тех случаях, когда эта функциональность в полной мере соответствует формальным признакам поведения интеллектуальной системы, что далеко не всегда справедливо) в подавляющем большинстве случаев проявляется только в среде комплексных решений вполне конкретного и узкого круга компаний-производителей (чаще всего – единственного производителя), что обусловлено отсутствием (или недостаточной распространенностью и совершенством) необходимых общепринятых стандартов реализации «интеллектуальных взаимодействий» между системами различных уровней (это относится и к стандартизации в области IoT).

Сформулированные выводы позволяют, в определенной мере, обосновать следующие соображения относительно точек приложения в рассматриваемой проблемной области (создание интеллектуальных DMP) разработок в сфере технологий инженерии знаний:

1. Общая архитектура и принципы функционирования DMP позволяют эффективно встраивать в ядро платформ интеллектуальные компоненты, которые могут выступать в качестве потребителей сервисов слоя АЕР (наряду, например, с проблемно-ориентированными интеллектуальными системами верхних уровней управления), но иметь при этом «особые полномочия» по работе с хранилищем данных платформы, а также независимо расширять номенклатуру средств ADP (автономно поддерживая определенный набор функций по «интеллектуальной» разработке приложений для работы с DMP).

2. Наиболее предпочтительной альтернативой описанной в п. 1 «экономичной» схемы общей системной «интеллектуализации» DMP («сверху») может являться формирование целостного, полностью интегрированного в среду платформы интеллектуального ядра, которое обслуживало бы системно-значимые операции и процессы различного профиля и выполняло бы по крайней мере следующие функции:

- поддержка формирования и обслуживания моделей знаний различного назначения (знаний о предметной области конкретного производства, о технологических и производственных процессах, о модельном базисе, о структуре систем и средств автоматизации, включая киберфизические подсистемы, об информационных потоках и ресурсах, о структуре, составе и функциях компонентов программного обеспечения различных уровней, о функциональных задачах, о самой платформе и ее конфигурации и т. д.), объединяемых в единое целое на основе комплексной метамодели знаний (ММЗ) DMP;

- поддержка логической структуризации единого информационного хранилища платформы и интеграции всех компонентов модельного базиса DMP (как на уровне информационных, так и на уровне процедурных взаимодействий) на базе вышеуказанной ММЗ и частных моделей знаний;

- поддержка конструирования, обслуживания и исполнения абстрактных моделей знаний процессного и процедурного типа (т. е. паттернов процессов, обобщенных алгоритмов и сценариев, имитационных моделей и т. п.), включая непосредственную реализацию решений функциональных задач DMP, представленных в виде моделей соответствующего вида;

- поддержка взаимодействия с внешними интеллектуальными системами, оперирующими аналогичными (или приводимыми) классами моделей знаний на уровне ядра DMP;

- поддержка интеграции с произвольными внешними информационными системами посредством формирования и внедрения их спецификаций (включая функциональные, информационные и прочие необходимые модели, описываемые в терминах моделей DMP) в соответствующие частные модели знаний и ММЗ платформы;

- реализация функций «посредника» между ядром DMP и слоями AEP/ADP;

- поддержка функций слоя ADP в задачах интеллектуального проектирования и моделирования (включая построение компонентных моделей по принципу «plug and play», использование готовых прототипов и проектирования по шаблонам, автоматического формирования программного окружения моделей и многое др.).

Представленный в п. 2 вариант постановки общей задачи интеллектуализации DMP будет далее рассматриваться в контексте настоящей статьи как базовый. Данная постановка в полной

мере определяет, в частности, выбор принципов построения и обобщенных схем обработки единого модельного базиса интеллектуальных DMP, неотъемлемыми компонентами которого должны являться ММЗ и «профильные» модели знаний, ориентированные на поддержку частных задач проектирования, анализа и поддержки функционирования целевого цифрового производства. При этом может быть также сформулирован ряд требований (дополняющих комплекс очевидных требований сугубо функционального характера, вытекающих из ранее приведенного перечня качественных характеристик гипотетического интеллектуального ядра перспективной DMP), которые касаются предпочтительных свойств теоретической и технологической базы, необходимой для разработки и реализации соответствующих решений. Представляется, что к числу подобных требований в данном случае в первую очередь следует отнести:

- использование теоретических подходов и связанных с ними классов моделей знаний (и методов их обработки), хорошо согласующихся со спецификой общего назначения, внутренней организации и схемой функционирования как самой DMP, так и ее интеллектуального ядра;

- предпочтительность поддержки совместного использования декларативных, процедурных и гибридных моделей знаний в рамках единого механизма их формального описания;

- наличие стандартизированных выразительных средств (языков), которые могли бы использоваться в качестве базовой формы представления моделей знаний выбранных классов при разработке и эксплуатации DMP;

- ориентацию на технологии обработки знаний, поддерживаемые необходимым парком инструментальных средств и исходно ориентированные на работу с распределенными вычислительными ресурсами.

Среди потенциально возможных подходов, в значительной степени отвечающих рассмотренным выше требованиям, следует особо выделить подход на базе применения онтологических моделей. Онтологии на данный момент являются достаточно хорошо проработанным теоретическим базисом, поддерживаемым в рамках глобального проекта Semantic Web консорциума W3C, имеют общепринятые «стандарты» описания (в виде рекомендаций W3C по языкам RDF/RDFS, OWL и языку запросов SPARQL) и широко используе-

мый стек технологий программной поддержки. Тем не менее, применительно к исследуемой проблеме формирования интеллектуального ядра DMP следует указать и на ряд недостатков онтологического подхода. Наиболее важными среди них в данном случае являются следующие:

- ограниченная выразительная мощность (в части механизмов образования типов и агрегирования типов и объектов, описания и типизации отношений произвольного вида, включая ассоциативные связи различных разновидностей, отображения полиморфизма типов и объектов, представления контекстных зависимостей, гибкой идентификации субъектов модели и др.);

- отсутствие средств прямого отображения процедурных моделей знаний;

- сложность логической структуризации компонентов модели;

- потеря гарантий поддержки дескрипционных логик при выходе за пределы диалекта OWL 2 DL (т. е. в наиболее выразительном диалекте OWL 2 Full), а также неоднозначность оптимального выбора профилей (EL, QL, RL) в рамках DL.

Большинства указанных недостатков лишен альтернативный подход, основанный на использовании теории концептуальных графов, который можно считать основным элементом предлагаемого в настоящей статье решения комплексной задачи интеллектуализации DMP.

Концептуальные графы (КГ) как класс моделей знаний обладают рядом отличительных особенностей, которые и определили их выбор в качестве базового выразительного средства при решении рассматриваемой задачи ([4], [5]). К достоинствам аппарата КГ, наиболее важным в выбранной проблемной области, относятся, прежде всего, следующие:

- высокая степень универсальности, позволяющая представлять на основе КГ практически любые наиболее распространенные базовые классы моделей знаний и данных;

- наличие стандартизированных (стандарты ISO/IEC 14481:1998 и ISO/IEC 24707:2007) средств описания (языки CGIF и CLIF, XML-производный язык XCL, графическая нотация DF);

- наличие аппарата формальной логической интерпретации, определенной в так называемой общей логике (Common Logic – CL, ISO/IEC 24707:2007), что позволяет строить математически корректные машины «исполнения» КГ. Уместно также заметить, что все упоминавшиеся ранее языки Semantic Web являются семантическими подмножествами языков CL;

- способность КГ к представлению как декларативных, так и процедурных знаний на уровне базовых нотаций и структур знаний;

- гибкая структуризация КГ, обусловленная спецификой базовых видов элементов моделей («концептов» и «отношений»): узлы-концепты могут представлять собой самостоятельные КГ, что позволяет формировать произвольные агрегаты из субъектов модели, а также композиции отдельных моделей, причем это относится и к возможностям образования типов объектов и концептуальных отношений в графе (так как пространство типов также представляется в виде КГ, позволяющих задавать произвольные семантические связи между типами);

- поддержка непосредственного отображения в КГ контекстно-зависимых и ассоциативных связей между субъектами модели (или их типами), что позволяет гибко оперировать структурными элементами моделей при обработке единого модельного базиса;

- поддержка механизма интеграции компонентов моделей знаний в единую структуру (базу знаний) за счет использования предопределенных специализированных контекстов в нотации CGIF;

- наличие достаточно широкого спектра инструментальных средств различного назначения для работы с аппаратом КГ (Amine, CharGer, Corese, CPE, Cogitant, Notio, CARE и др.) ([6]).

Один из возможных путей реализации рассматриваемого подхода к синтезу интеллектуального ядра DMP (подхода на базе применения аппарата КГ), как представляется, может быть построен на основе технологии AIS ([7]), развиваемой в настоящее время на кафедре автоматики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». Исходный вариант данной технологии был ориентирован на синтез встраиваемых интеллектуальных приложений, представляемых в виде совокупности открытого кода исполнимых компонентов целевой системы на универсальных алгоритмических языках высокого уровня (ЯВУ) и их объектно-ориентированных расширениях (в первых версиях AIS – на языках Pascal и C++), и бинарных образов баз знаний (БЗ), адаптированных к параметрам целевой программной среды (архитектура первой версии комплекса инструментальных средств поддержки AIS представлена на рис. 1).

Специфическими особенностями технологии, имеющими прямое отношение к рассматриваемой проблемной области, являлись:

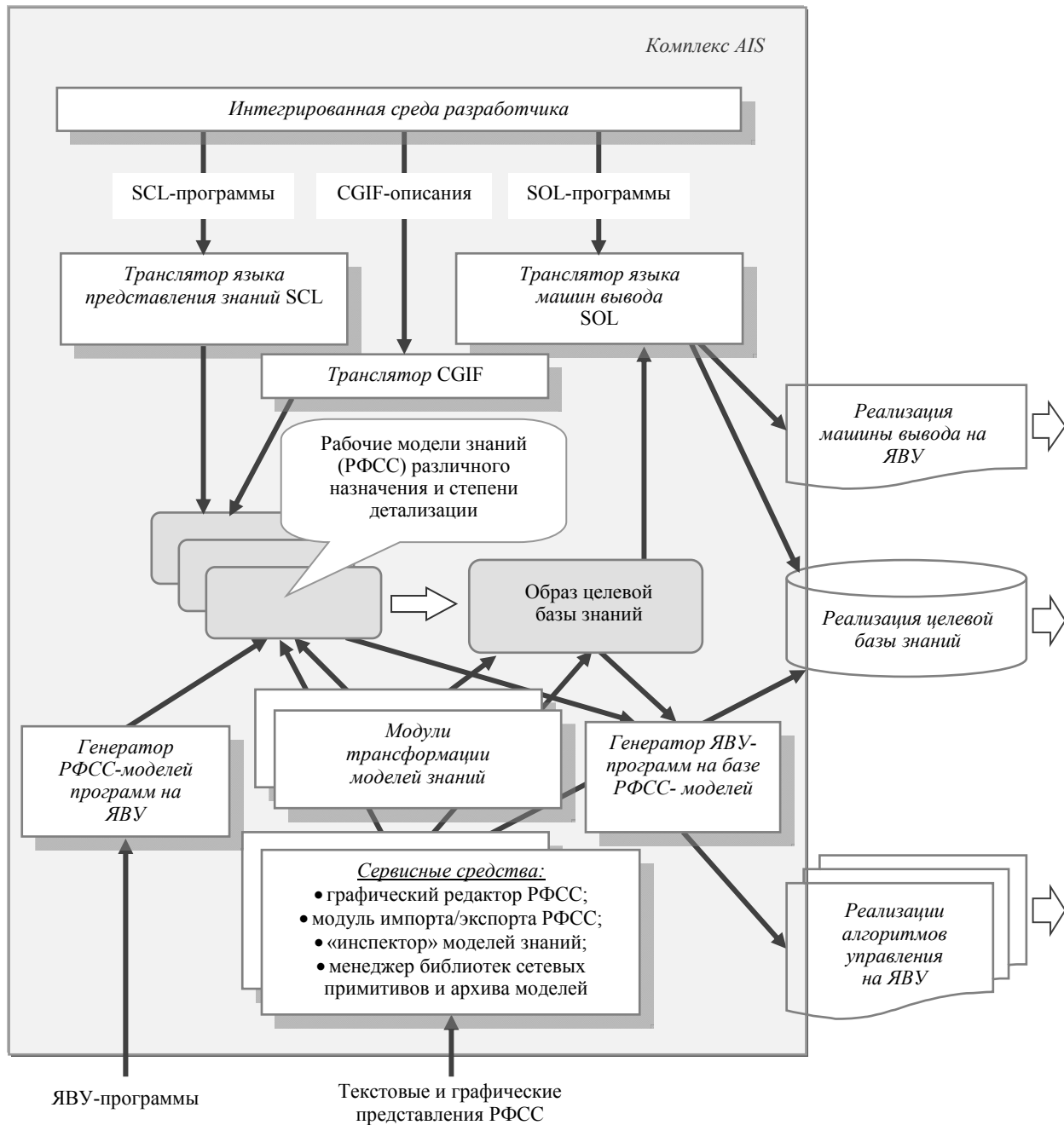


Рис. 1

- использование нотации CGIF в качестве вспомогательного входного языка описания структур знаний и данных, а также схем организации интегрированных БЗ;

- применение модельного базиса, основанного на оригинальном классе моделей знаний, названном «расширенными функциональными семантическими сетями» (РФСС). Объектно-ориентированная реализация РФСС использовалась в AIS в качестве средства единообразного структурного представления сетевых моделей разнообразного функционального назначения (моделей знаний различных видов и уровней детализации, моделей

программных алгоритмов, библиотек модельных примитивов, моделей трансформации компонентов БЗ, включая схемы преобразования терминологических базисов, и т. д.);

- синтез образов исполнимых компонентов целевой интеллектуальной системы (включая машину логического вывода и программные алгоритмы управления, реализуемые на выходе системы) в виде открытых текстов на ЯВУ, интегрируемых в дальнейшем в структуру «вещающего» приложения или независимо компилируемых в целевой программной среде.

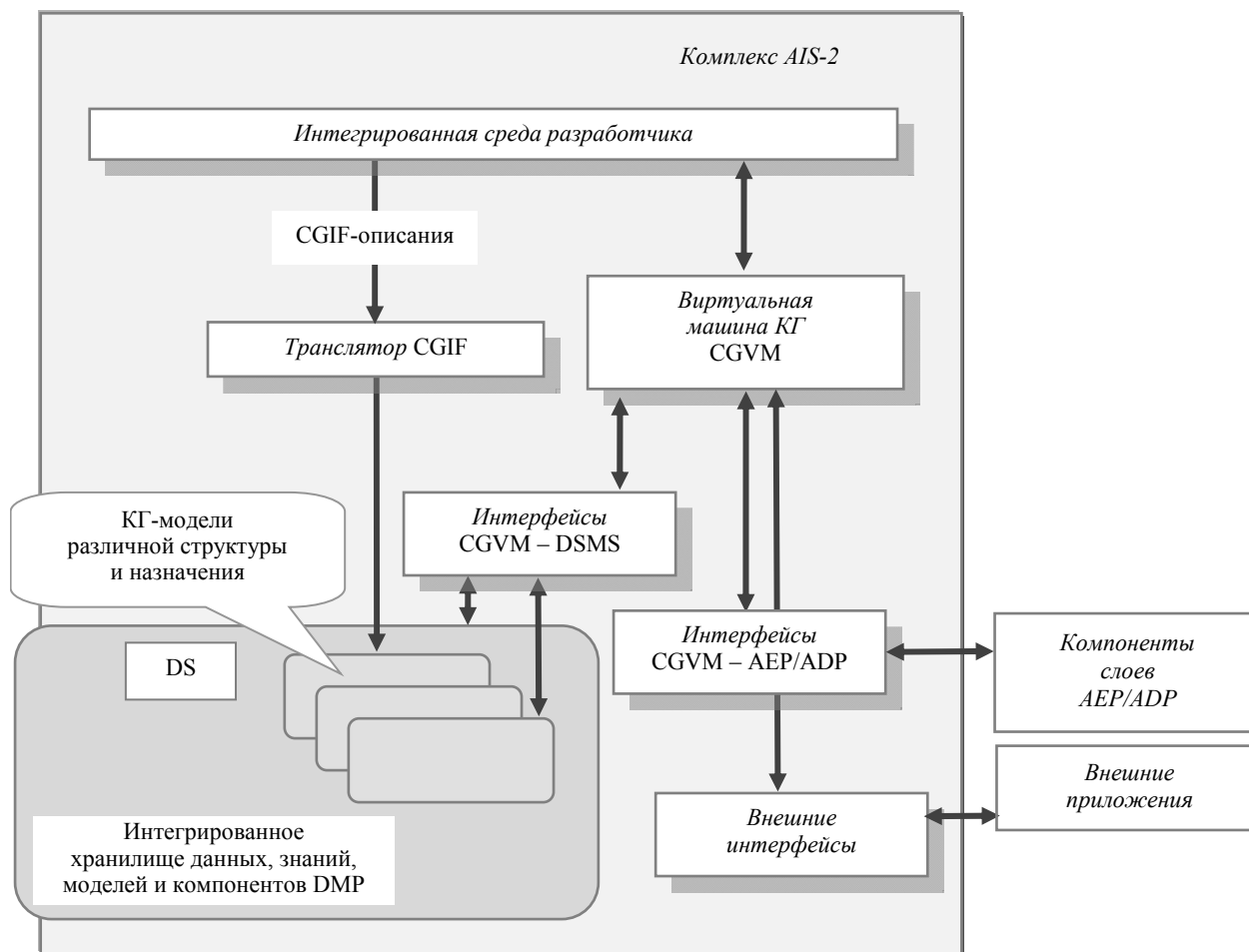


Рис. 2

Перечисленные характеристики первой версии AIS позволяют сделать вывод о том, что некоторые базовые элементы данной технологии могут быть эффективно применены при решении рассматриваемой задачи формирования интеллектуального ядра DMP на базе аппарата КГ.

К настоящему моменту технология AIS развивается в соответствующем направлении и преобразуется к виду многофункционального технологического решения, поддерживаемого различными конфигурациями и вариантами исполнения комплекса средств поддержки. Одна из перспективных конфигураций подобного рода (далее – AIS-2), находящаяся на фазе разработки, представлена на рис. 2. Данная конфигурация в полной мере соответствует сформулированной ранее постановке задачи интеллектуализации DMP и может рассматриваться в качестве основы предлагаемого решения, непосредственно интегрируемого в среду целевой платформы.

К числу основных системных компонентов AIS-2 относятся:

1) виртуальная машина КГ (CGVM), в функции которой входит управление исполнением процедурных сценариев, представленных в виде КГ, обслуживание трансформаций единого модельного базиса DMP и координация функций системы управления хранилищем данных (DSMS), а также обслуживание запросов внешних систем на предоставление доступа к данным и программным компонентам платформы, включая запросы слоев АЕР и ADP;

2) интегрированная среда разработчика (являющаяся автономным или встроенным компонентом слоя ADP), поддерживающая функции конструирования (с использованием как текстовых, так и графических КГ-нотаций), обслуживания, визуализации и мониторинга исполнения компонентов модельного базиса DMP, построенных или интегрированных на базе КГ;

3) интегрированный модуль трансляции КГ-моделей, реализующий приведение исходного представления КГ к требуемому (в рамках DMP) виду и размещение соответствующей модели в едином хранилище данных платформы (при координации CGVM);

4) интерфейсные модули интеллектуального ядра DMP, поддерживающие его взаимодействие с DSMS и слоями AEP/ADP, а также (при необходимости) прямые взаимодействия с внешними приложениями.

Все перечисленные компоненты при работе на уровне внутренних представлений КГ могут использовать соответствующие методы обработки РФСС-моделей, реализованные в рамках первой версии AIS.

Выбор конкретной формы реализации рассматриваемых компонентов интеллектуального

ядра DMP в общем случае зависит от планируемой схемы эксплуатации ресурсов платформы, архитектуры аппаратных средств, характеристик программного окружения и единой системной организации целевой среды, а также от ряда других факторов. Тем не менее, при разработке AIS-2 основное внимание уделяется сервис-ориентированным архитектурам, а также кроссплатформенным экосистемам, эффективно поддерживающим различные базовые механизмы распределенной обработки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pethuru Raj, Anupama C. Raman. The Internet of Things: Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases. Boca Raton, FL, USA: Auerbach Publications, 2017. 364 p.

2. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols and Applications / A. Al Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aldehary, M. Ayyash // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2015. Vol. 17, № 4. P. 2347–2376.

3. Biron J., Follett J. Foundational Elements of an IoT Solution. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2016. 69 p.

4. John F. Sowa, Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations. Pacific Grove, CA USA: Brooks Cole Publishing Co, 2000. 594 p.

5. Michel Chein, Marie-Laure Mugnier. Graph-based Knowledge Representation – Computational Foundations of Conceptual Graphs. Advanced Information and Knowledge Proc. New York, USA: Springer, 2009. 427 p.

6. Власенко С. В., Варчев Д. А. Использование аппарата концептуальных графов в задачах представления и обработки знаний: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009. 64 с.

7. Власенко С. В. Технология разработки программного обеспечения встроенных интеллектуальных управляющих систем в открытом коде // Всерос. науч. конф. по проблемам управления в технических системах (ПУТС-2015). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. С. 256–260.

S. V. Vlasenko

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF GEOINFORMATION SUPPORT FOR MAPPING OF AREA OBJECTS IN THE ARCTIC USING NON-CONTACT METHODS

An important task in remote areas of the Arctic is a mapping of various site objects with their subsequent classification. An example is the mapping of sea-ice fields of different ages in the interests of operational geoinformation support of navigation along the Northern Sea Route. The described mapping in the Arctic is expedient to be solved with the help of non-contact methods, including remote sensing of the Earth. The main sources of non-contact data are the satellite systems Sentinel-1, Landsat7, Landsat8 and MODIS. Features of their application and imposed restrictions are described. As the main source of data, the satellite system Sentinel-1 was chosen, capable of probing the underlying surface under any light and weather conditions, which is especially important when observed during the polar night or in cloud conditions. As a supplement, Landsat7, Landsat8 and MODIS systems were considered, the data of which are able to fill the missing time sections of a single circuit, ensuring continuity of observation over the water area. The analysis of the databases of these systems is given.

Digital manufacturing, Industry 4.0, Internet of things, intelligent systems, knowledge models, conceptual graphs