



*Anniversary Scientific Conference
„40 YEARS DEPARTMENT OF INDUSTRIAL
AUTOMATION”, University of Chemical
Technology and Metallurgy, Sofia, 18 March 2011*

Anniversary Scientific Conference with International Participation

40 Years Department of Industrial Automation

PROCEEDINGS

BULGARIA, SOFIA
18.03.2011

Multiobjective Optimization using Kriging for Industrial Applications ...	107
D. Petrova, E. Koleva, V. Tzotchev, I. Vuchkov	
Model-Based Robust Quality Improvement of Automatic Cleaning Process of IBC-Containers	111
Tzanev A.	
Goals and Essence in Simulation Modeling of LSS	115
Ivanov B., D. Dobrudzhaliev	
Mathematical Model Consumption of Resources for One Stage Batch Processes	121
S. Penchev,	
Shape Description of Grain Sample Elements	125
 Session Mo2: Process Optimization	
P. Djambov, D. Shishkov, P. Bozadjiev, D. Djambov, Ts. Velinova	
Integration Between High-Pressure and Low-Pressure Nitric Acid Productions	129
Stoilov T., K. Stoilova	
Optimal Control of Portfolio Investments	133
A. Nasuf, A. Bhaskar, A. J. Keane	
Multi-Objective Optimization using Grammatical Evolution	137
P. Ruskov, A. Bachvarov	
Disruptive Innovations for Energy Systems	141
Tashev T., M. Marinov	
Problems in Modeling Algorithm for Packet Switch Matrix to Commutate On Computers With Intel Processor Architecture	145
 Session IS: Intelligent Systems	
Christova N., E. Koleva, K. Velev	
Neural Network Based Approach for Process Optimization of Electron Beam Welding	149
Gocheva D. I. Batchkova	
Ontology Based Approach for Achieving Interoperability of Manufacturing Execution Systems	153
Mladenov M., M. Mustafa	
Color Segmentation of Placards for Dangerous Materials	159
Balabanov T.	
Heuristic Forecasting Approaches in Distributed Environment	163
Yanakiev B.	
Prediction of Biodiversity in Hot Springs with Neural Networks	167



ОНТОЛОГИЧНО БАЗИРАН ПОДХОД ЗА ПОСТИГАНЕ НА ИНТЕРОПЕРАТИВНОСТ В СИСТЕМИТЕ ЗА ОПЕРАТИВНО УПРАВЛЕНИЕ

ONTOLOGY BASED APPROACH FOR ACHIEVING INTEROPERABILITY OF MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS

Д. Гочева, И. Бачкова

Химикотехнологичен и Металургичен Университет, кат. Автоматизация на производството, бул.
Кл. Охридски 8, София, България, {[dani | idilia](mailto:dani.idilia@uctm.edu)}@uctm.edu

Abstract: A semantic approach is proposed for interoperability in software development and system integration especially to address manufacturing execution systems. The approach is realized by developing a meta model based on ANSI/ISA-S95 standard and integration of domain models applied to different functions and aims. Two partial ontological models for hot strip mills are developed: ontology of products and ontology of tasks in production planning and scheduling. The proposed approach is demonstrated by ontology for products and equipment in an engineering support system for electron beam melting and refining of metals and alloys. Web Ontology Language (OWL) and Protégé as an editor and knowledge acquisition tool are used.

Key words: interoperability, ontology, ANSI/ISA-S95, OWL

ВЪВЕДЕНИЕ

Качественият обмен на информация е важен за ефективността на всяка икономика. Въпреки напредъка в развитието на информационните технологии, стремежът към достигане високи нива на ефективност, гъвкавост и мобилност все още не е реализиран. При интегрираните системи за управление възниква и се задълбочава проблема интероперативност на информацията. IEEE в Standard Computer Dictionary дава следната дефиниция на понятието интероперативност: способността на две или повече системи или компоненти да обменят информация и да използват тази информация [1].

Работата в среда на Интернет налага използването на технологии, които подпомагат интероперативността между разпределени и разнородни информационни системи и платформи в най-общ вид. Интеграцията на софтуера във физическите системи, както и осигуряването на неговата коректност, сигурност, надеждност, интероперативност и преносимост се решават успешно в последните години чрез използването на модели в областта на софтуерното инженерство. Семантично-базираните технологии и онтолозиите в частност играят ключова роля в постигането на безпроблемни ("безшевни") връзки в интегрираните системи. Семантичният подход показва огромен потенциал при създаване на по-ефективен, адаптивен и интелигентен софтуер.

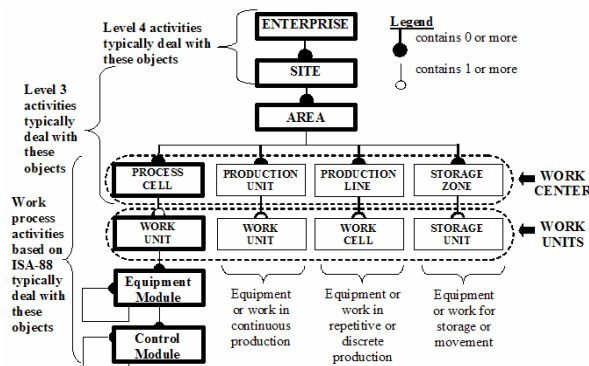
Цел на разработката е да представи и дискутира един подход за улесняване на интеграцията и постигане на интероперативност в системите за оперативното управление чрез съвременни методологии, методи и средства на базата на утвърдени стандарти за интеграция.

ПОДХОД, МЕТОД И СРЕДСТВА

Стандарти за системна интеграция. Стандартизационни инициативи в рамките на водещите световни, нестопански организации за създаване на стандарти в областта на

електроинженерството, електрониката и автоматизацията ISO, IEC и ISA, решават проблемите на интеграцията на информацията, като специфицират във вид на информационни стандарти категориите информация, свързана с продуктите, производствените ресурси и производствените процеси.

Стандартът ANSI/ISA-S95 [2], приет по-късно като ISO/IEC 62264, цели стандартизация на обмена на информация между системите на бизнес ниво и тези на ниво управление на производството. Моделите и терминологията, дефинирани в стандарта отразяват най-добрите практики в интеграцията на тези системи. Моделът на йерархията на оборудването следва идеите заложи в стандарт ANSI/ISA-S88 [3], приет и като ISO/IEC 61512, насочен в областта на обмена на информация в периодичните производства. Въпреки че двата стандарта: S95 и S88 са предназначени да специфицират производствените операции и управлението, те са различни по обхват и подход (Фиг.1).



Фиг.1: ISA S95 and ISA S88 Physical Hierarchy Models [2]

Тъй като стандартът S88 е специализиран за периодични процеси, а S95 разширява моделите, като обхваща непрекъснати и дискретни производства като фокусира горните йерархични нива на управление, в настоящия момент се обсъжда тяхното съвместно приложение.

ANSI/ISA-S95 предоставя модели за дефиниране на функциите и интеграцията между различните системи в производствените предприятия чрез:

- Йерархични модели, които дефинират нивата на функциониране и свързаните с тях области на управление;
- Функционални модели на данните, които описват функциите и потоците от данни в рамките на производствените предприятия;
- Обектни модели, които описват информацията, която се обменя между на системите за управление на предприятията и системите за управление на производството.

Информацията, специфицирана чрез обектните модели се структурира чрез 4 категории ресурси: *персонал (Personnel)*, *оборудване (Equipment)*, *материали (Material)* и *процесни сегменти (Process Segment)* и се представя чрез 4 основни модела: *Дефиниране на продукти (Product Definition)*, *Производствени ресурси (Production Capability)*, *Планиране на производството (Production Schedule)*, и *Производство на продукция (Production Performance)*. Моделите в стандарт S95 са представени чрез нотациите на Unified Modelling Language (UML) [9].

Моделът на йерархията на планиране и управление дефинира 4 нива на планиране и управление, като първите три могат да се разглеждат като локални нива на управление. Третото ниво на планиране и управление, наречено "Оперативно ниво на управление" реализира връзката между четвъртото ниво наречено "Бизнес планиране и логистика" и производството. Функциите на оперативното управление (Manufacturing Operations Management) могат да бъдат класифицирани в 4 основни категории, базирани на следните 4 формални модела: мениджмънт на производствените операции (Production operation management), мениджмънт на поддръжката на производствените операции (Maintenance operations management), мениджмънт на качеството (Quality operations management) и мениджмънт на складовото стопанство (Inventory operations management).

Системите за оперативно управление на производство (Manufacturing Execution Systems – MES) са основната рамка за осъществяване на едно предприятие в реално време. Основното преимущество за фирмите, използващи системи за оперативно управление (MOM/MES), са свързани със съксяване времето на производствения цикъл, складовите наличности, времето за доставка и времето за въвеждане на данни и работа с документи; подобряване качеството на продуктите и услугите за клиентите; реакции към непредвидими събития и облекчаване работата на оперативния персонал.

Робастността и надеждността на системите за управление на производство зависи в голяма степен от структурата и коректността на нейните софтуерни компоненти. Осигуряването на тяхната коректност става все по-трудно. Традиционните процеси на разработка на тези софтуерни системи включващи създаването на код на ръка и последващо тестване и симулация не са вече ефективни, продуктивни и достатъчно успешни.

Съвременните подходи при разработката на оперативни системи за управление са свързани с разширяване на нивото на абстрактност на ниво модел чрез използване на формални методи и осланяйки се на автоматичното или полу-автоматично генериране на код с цел създаване на код на традиционните езици за програмиране [8]. Използването на формални подходи при разработката на системи за оперативно управление в комбинация с предложените в ANSI/ISA-S95 модели ще даде

възможност за бърза и надеждна интеграция и преизползване на компонентите на тези системи и ще осигури интероперативност по време на целия жизнен цикъл на системите.

Семантични подходи. Семантично-базираните технологии и онтологията в частност могат да се използват на всички етапи от разработката на системите в един или друг вид [4-7]. Започвайки от онтологичен модел на областта, различните видове процеси, задачи, интерфейси, като се мине през интелигентни агенти, които използват онтологията за да комуникират помежду си в разпределени хетерогенни среди и се стигне до процеса на управление на качеството и диагностика на проблеми. Онтология е термин, който е заимстван от философията. Според Neches [5] в областта на изкуствения интелект - "онтологията дефинира основните понятия и релации, включвайки речник в дадена тематична област, както и правила за комбиниране на термини и релации за дефиниране на разширения на речника". По-късно през 1993 г., Грубер дава определение, което става най-известното и цитирано в литературата: "онтология е явна спецификация на една концептуализация". Това определение е модифицирано от Borst [6] и анализирано от Uschold [7], като: "онтологията се дефинира като формална спецификация на споделена концептуализация".

Приложните онтологии (или домейн-онтологията) моделират определена област, или част от света. Те представят частното (конкретното) значение на термините, както те се използват в конкретна приложна област. Приложните онтологии осигуряват споделено и общо разбиране на определена област. За разлика от концептуалните модели, онтологията улавяват значимите същности на областта, като чрез език за специфициране на онтология, който се основава на набор от основни, независими от областта онтологични категории при предположение за „отворена среда“. [8]. Те правят явни предположения в областта и подпомагат развитието на общи споделими от хора или интелигентни агенти информационни структури. Използването им позволява разделянето на оперативните знания от приложните знания и отваря възможности за анализ на приложните знания и повторна употреба.

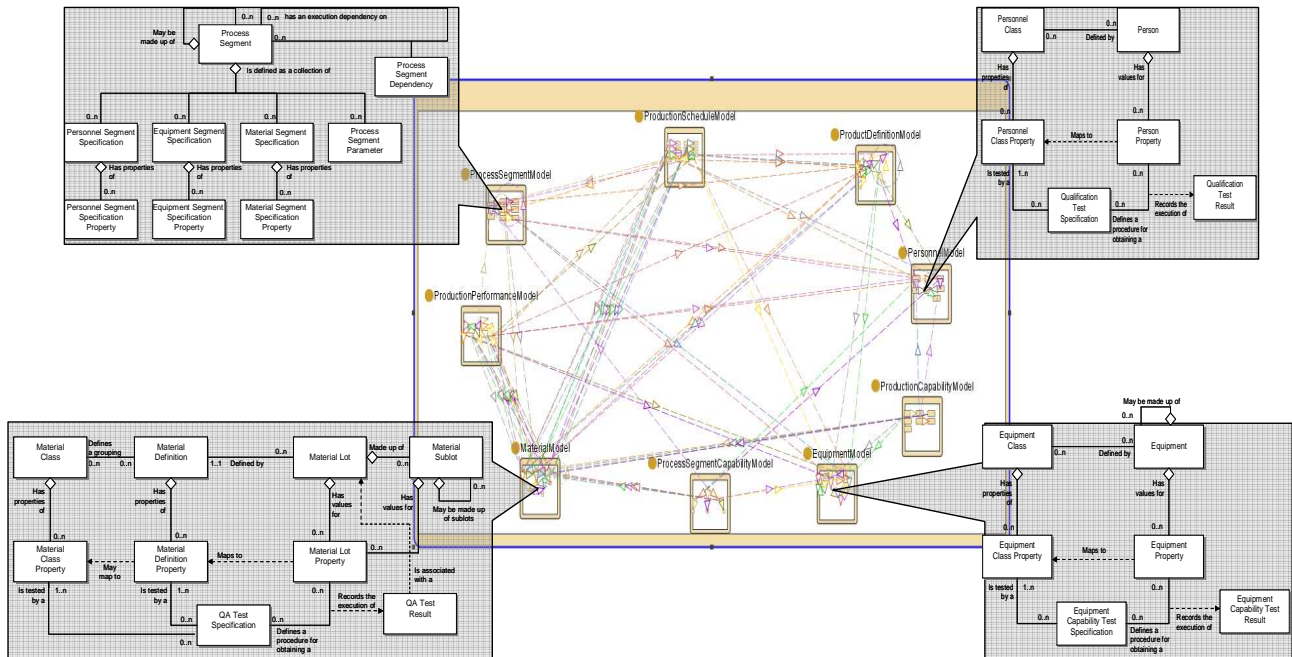
Съвременни методи и технологии Повишаващите се изисквания към софтуерното инженерство налагат използването на обектно ориентирания подход и неговия най-силен представител – унифицирания език за моделиране UML [9]. UML е отворен стандарт, основан на опита и нуждите на множество потребители, който подпомага пълния жизнения цикъл на разработка на системи за управление в различни и разнообразни приложни области. Особено важно предимство на UML е възможността, която предоставят поддържащите го програмни средства за съвместна оперативност с утвърдени системи за моделиране и симулация. Web Ontology Language (OWL) е наскоро създаден стандартен език за онтологии, одобрен от World Wide Web Consortium (W3C) [10]. OWL дава значителни възможности за онтологии: отвореност и разширимост, съвместимост с уеб стандарти за достъп и оперативна съвместимост, способност да се разпространяват в много системи. Web Ontology Language разкрива потенциала на дескриптивната логика в приложните проекти предоставя възможности за логически анализи, които помагат да се изгради, поддържа и използва онтологичния модел за много и различни цели.

Тъй като и двата езика UML и OWL са създадени за целите на представянето на знания и имат общи корени в

обектно ориентираното моделиране, по отношение на синтаксиса, те притежават забележителна степен на сходство [11]. По отношение на семантиката, обаче, поради различните цели, за които са създадени, OWL се развива към конструкции, поддържащи интерфейси, web приложения и обработка на знания.

МЕТА ОНТОЛОГИЯ

Създадена е мета-онтологията на основата на моделите, дефинирани в ANSI/ ISA S95 чрез използване на Web



Фиг.2: Основни модели в мета онтология, основана на ANSI / ISA S95 стандарт

Според ANSI/ISA S95 моделът *материали (Material)* се състои се от четири основни класа: *материали-клас (Material)*, *дефиниране материали (Material Definition)*, *партиди (Lot)*, *подпартиди (Sublot)* и съответни класове за техните свойства. Моделът *оборудване (Equipment)* съдържа информация за конкретното използвано оборудване, класа оборудване, тестове за състоянието и поддръжката на оборудването. Класът *оборудване-клас (Equipment class)* представлява елементите на специалното оборудване съгласно йерархичния модел, определен в стандарта, приложим за периодични, непрекъснати и дискретни производства, също така и за складове. Моделът *Оборудване (Equipment)*, който се използва в онтологията следва модел оборудване на стандарта: оборудване е не само отделната машина, но и цялото предприятие, цехове, зони, работни центрове и работни единици. Моделът *персонал (Personnel)* съдържа информация за конкретни служители, класове служители и квалификация на служителите. Моделът *процесни сегменти (Process Segment)* представя всеки процес като логическо групиране на човешки ресурси, оборудване и материали, необходими за извършване на производствен етап. Създадената в съответствие с моделите, предоставени от стандарт ANSI/ISA S95, мета-онтология се състои от 105 класа, 300 обектни свойства, 397 свойства тип данни, 187 ограничения върху свойствата. Този модел не е свързан с конкретно производство, дефинирани са единствено основните атрибути на обектите, които са предложени в стандарта.

Ontology Language (OWL) в среда на Protégé като редактор и система за обработка и съхранение на знания [12]. Онтологичният модел не е свързан с конкретно производство и може да играе роля на рамка за интегриране на различни по функции, цел и предназначение онтологични модели.

Моделите и част от релациите между тях са показани в Фиг.2.

ДОМЕЙН ОНТОЛОГИЯ НА ЗАВОД ЗА ГОРЕЦО ВАЛЦУВАНЕ

Производството в заводите за горещо валцуване е “производство по поръчка”, като всеки продукт има срок за доставка, продажна цена и е предназначен за клиент, който има дефинирани изисквания за доставка и качествени показатели. Производственият процес се характеризира чрез три конфликтни елемента: качество на продуктите, производителност и навременното изпълнение на поръчките. Продуктите се произвеждат в широка гама дължини, ширини и дебелини и имат потенциално различни металургични свойства. Технически и логистични ограничения възникват от необходимостта да се осигури непрекъснат процес на нагриване и плавни преходи при различните програми за валцуване.

Повечето от подходите при планиране на производството третират заводите за горещо валцуване като самостоятелни съоръжения, тъй като координацията с машините за непрекъснато разливане е много трудна задача.

При разработването на онтологията е предвидено използване на разработената стандартна ANSI / ISA S95 мета-онтология като рамка за интегриране на онтологии за различните производства и складови стопанства в рамките на целия производствен цикъл.

Чрез основните ресурси: *персонал, оборудване, материали* и *процесни сегменти* се представя чрез 4+1 модела: *дефиниране на продукти (Product Definition), производствени ресурси (Production Capability), планиране на производството (Production Schedule), и производство на продукция (Production Performance) и ресурсни процесни сегменти (Process Segment Capability)*. За част от тези модели са зададени допълнителни класове и атрибути, касаещи конкретното производство.

В разработената домейн-онтология са дефинирани подкласове на основните мета класове: клас *материали* обхваща материали със сходни характеристики: *суровини, продукти, междинни продукти*. За разглеждания листопрокатен стан [12], суровините са сляби, продукцията се състои от горещо валцувани рулони, листове, шрипс и рифел. Клас *оборудване* се състои от нагревателни пещи, чернова група, честова група, водно охлаждане и намоталки.

Моделът процесни сегменти (*Process segment model*) представя производствения процес като логическо групиране на ресурси (оборудване, материали и персонал), необходим, за да се проведе един производствен етап. В онтологията моделът *процесни сегменти* се състои от два *процесни сегмента движение* (за зареждане на пещите и разтоварване на продуктите) и три *производствени процесни сегмента (Production process segment)* (нагряване, валцуване, опаковане).

В бъдеще и други процесни сегменти (непрекъснато леене, нагревателни кладенци, склад за сляби и др.) могат да се интегрират в мета-класовете.

Основният клас в модела планиране на производството (*Production Schedule Model*) е клас производствен план (*Production Schedule*). Той от своя страна е колекция от една или няколко заявки за производство (*Production Request*). Всяка заявка дефинира изискванията към процесните и продуктови сегменти, параметрите на крайния продукт, изисквани от клиента, като специфични размери или специфична обработка. Тук се задават необходимите изисквания за оборудване (*Equipment Requirement*), изразходвани материали (*Material Consumed Requirement*), производствени материали (*Material Produced Requirement*) и персонал (*Personnel Requirement*) а така също и очаквания разход на консумативи (*Consumable Expected*).

Всеки клас притежава определен минимален брой атрибути, дефинирани според ANSI/ISA S95, касаещи планирането на производството: ID, описание, количеството, мерните единици на конкретния консуматив, толерансите за качеството и размерите на продукта, приоритета на производствената заявка, нейния текущ статус, началния и краен срок за производство.

По този начин информационната система разполага със систематизирана информация за конкретните продукти, суровини, персонал и оборудване, изисквания и ограничения, налагани от клиентите и качеството или производителността.

Задачите за планиране са тясно обвързани с крайните продукти и пазара. От изключителна важност е да се отчита номенклатурата на готовата продукция, защото при изпълнение на разнообразни поръчки се включват различни означения за продуктите (стандарты, марките стомана, крайни размери, допуски и др.)

ОНТОЛОГИЧЕН МОДЕЛ НА ПРОДУКТИ ОТ ПРОКАТНИ ПРОИЗВОДСТВА

Един от най-важните аспекти на управлението на жизнения цикъл на продуктите е представянето и обмена на информацията за продуктите. Понастоящем данните за продуктите се управляват от множество различни информационни и управляващи системи, които поради ниската си степен на интегрираност и съвместна оперативност не могат да гарантират качество и бързина на обмена.

Семантичният подход в системите за управление на данните за продукти, изградени на основата на близките и взаимно допълващи се стандарти и технологии ISO-10303 (STEP), XML и OWL позволява създаване на логически връзки, които могат да бъдат дефинирани и проверени чрез софтуерни средства - логически анализатори.

Един от големите проблеми при въвеждането на интегрирана информационна система SAP/R3 в "Стомана Индъстри" АД (собственост на SIDENOR – Steel Products Manufacturing Company S.A.) през 2003 година е системата за управление на данните за продуктите. Номенклатурата на готовата продукция включва най-различни означения за типа на готовите продукти, качеството на стоманата, в зависимост от пазара и производителя, за размерите, за класовете на точност и за други показатели.

Предложен е онтологичен модел на продукти от прокатни производства, на базата на който се илюстрира подход за създаване на система за класификация на продуктите от стоманодобивната промишленост, на базата на стандартна рамка и система за класификация. На фиг. 3 е представена част от онтологията на продуктите от сортопрокатно производство, като е демонстрирано действието на логически анализатор FaCT++, интегриран в среда за създаване и редактиране на знания Protégé 4.1. Използани са данни за продукцията на SIDENOR – Steel Products Manufacturing Company S.A и справочни данни за продукти от прокатни производства. Показана е класификацията на логическия анализатор за един клас от номенклатурата на конкретен завод на базата на дефинираните в онтологията релации, свойства и аксиоми.

ОНТОЛОГИЧЕН МОДЕЛ НА ИНСТАЛАЦИЯ ЗА ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВО ТОПЕНЕ И РАФИНИРАНЕ НА МЕТАЛИ

Основната цел на създаване на модела е да бъде използван като рамка за разработване на интегрирана информационна среда за моделиране и управление на процесите при електронно-лъчево топене и рафиниране на метали и сплави. Използван е същия подход за интегриране на онтологии: мета-онтология, създадена в съответствие на моделите от стандарт ANSI/ISA S95, и приложна онтология [13], предоставяща информация за конкретната област - електроннолъчево топене и рафиниране на метали и сплави.

Приложната онтология за ЕЛТР се състои от 91 собствени класа 4 обектни свойства и 45 собствени свойства тип данни.

Класът *Materia_Definition_EBMR* описва материали (продукти) с близки характеристики. В конкретната приложна област на този етап на разработка на онтологичния модел, е възприета следното йерархично представяне: класовете *Raw_materials* и *Finished_products* са подкласове на *Material_Definition_EBMR*; клас

Raw_materials е супер-клас на *Solid_materials* и *Previous_Pressed_pieces_materials*, последният е представен като *Metal_sponge* и *Waste_materials*.

Класът *Material_Definition_Property_EBMR* включва 5 подкласа: химичен състав (*Chemical_Composition*), температурни разпределения (*Temperature_distributions*), геометрични характеристики (*Geometry*), термофизични свойства (*Thermophysical_properties*) и параметри (*Refining_parameters*). Структурата на класа *Material_Definition_Property_EBMR* е представена на Фиг.4

Класът *Thermophysical_properties* включва данни за основните свойства на металите, групирани в класове за рафиниран метал, за примеси, за оксиди на примеси, и за оксиди на рафинирания метал. В онтологичния модел са записани конкретни данни, необходими за моделирането на процесите на електроннолъчева топене и рафиниране (таблични данни, технологични параметри), както и резултати от моделирането във вид на температурни разпределения и стойности на голям брой физични величини.

Модел Оборудване. За електронно-лъчево топене и рафиниране, клас *Equipment_EBMR* включва следните подкласове: *EB_gun*, *Vacuum_system*, *Vacuum_chamber*, *Crucible*, *Pushing_device* и *Withdrawal_device*. Избраната структура може да бъде разширявана с подкласове според модела, представен в стандарт S88 за управление на предприятия с периодичен режим на работа. Клас *Equipment_EBMR* може да има нула или повече характеристики, специфицирани в клас *Equipment_Property_EBMR*. Индивидите в класовете тук се използват за записване на данни със стойности, характеризиращи актуалното състояние на оборудването и технологични параметри, свързани с оборудването.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базираните на формални онтологии системи от знания играят важна роля в постигането на интеграция и интероперативност. Те могат да бъдат използвани като инфраструктура на разнообразни приложения, които интелигентно подпомагат потребителя при решаването на задачи или като осигуряват комуникацията между различни хетерогенни информационни и управляващи системи.

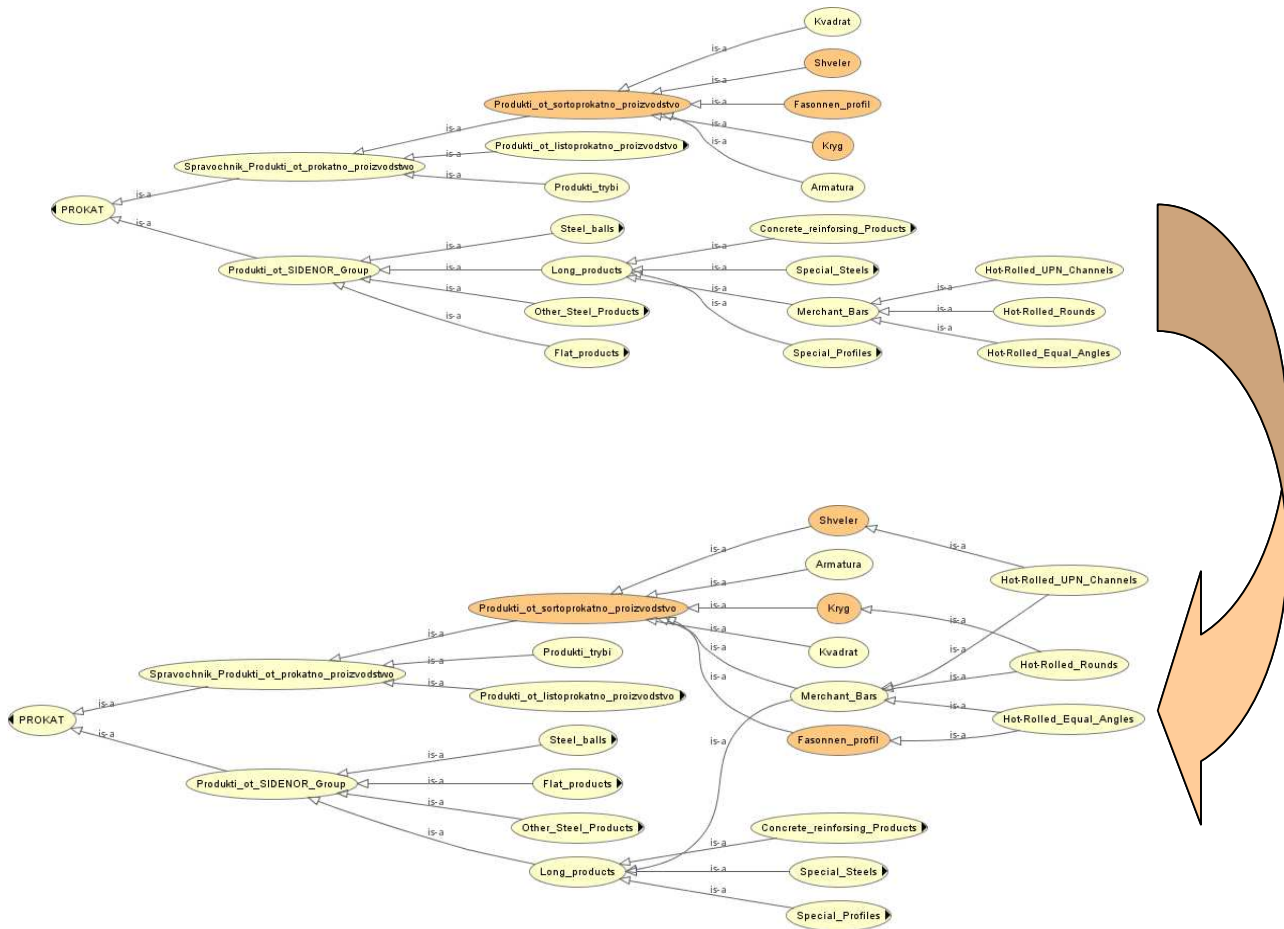
Предложеният семантичен подход при разработката на интегрирани системи, насочен специално към системите за оперативното управление на производството, позволява лесно разширяване, сливане, споделяне на модели и данни на базата на семантична основа и модели за многоцелево приложение.

Използването на разработената стандартна мета-онтология като рамка за осъществяване на информационния обмен дава възможност за поетапно решаване на частични проблеми в различни приложни

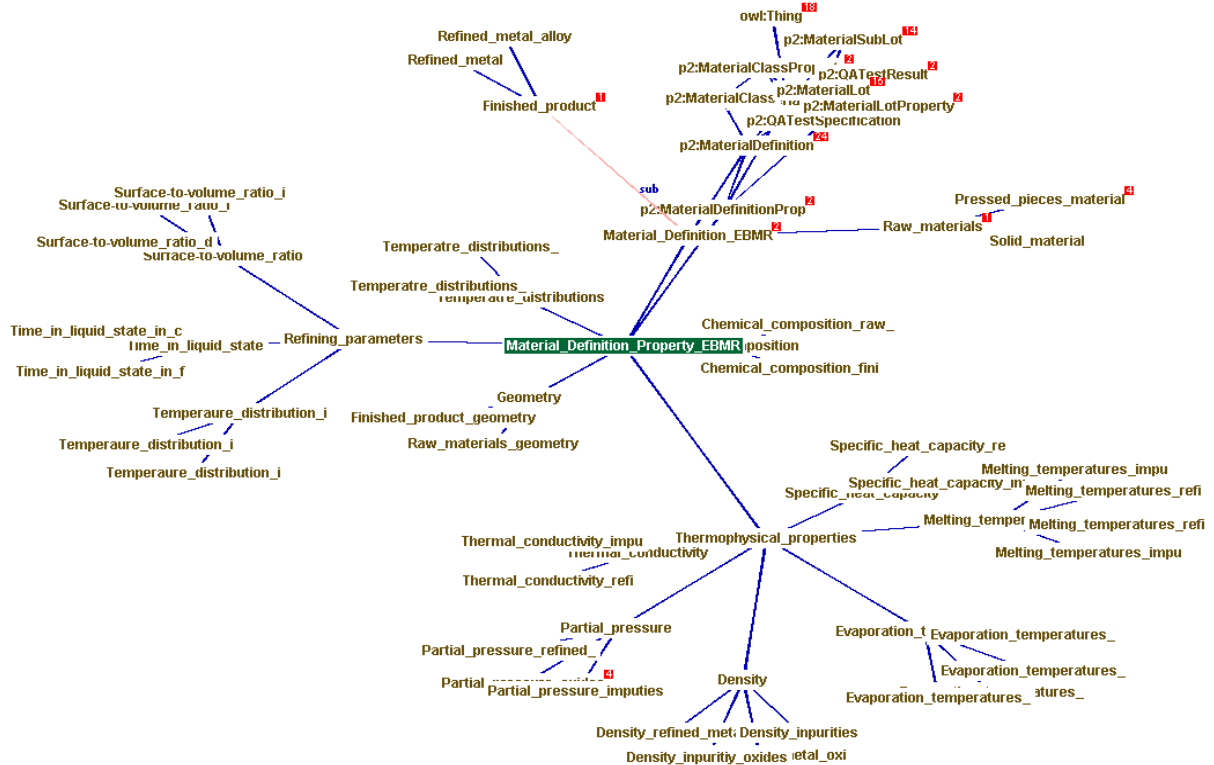
области, което я прави многократно използвана и разширяема.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE, Standard Computer Dictionary – A Compilation of IEEE standard Computer Glossaries. NY. 610-1990. ISBN 1559370793.
2. ANSI/ISA-S95.00.01-2000, “Enterprise-Control System Integration, Part 1: Models and Terminology”, American National Standard, ISBN: 1-55617-727-5, 2000.
3. ANSI/ISA-88.00.01-1995 Batch Control - Part 1: Models and Terminology
4. Guarino N., Formal ontology and Information Systems, in proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June, Amsterdam, IOS press, pp. 3-15, 1998.
5. Neches R., Fikes R. E., Finin T., Gruber T. R., Senator T. and Swartout W. R., “Enabling technology for knowledge sharing,” AI Magazine, 12 (3), pp. 36-56, 1991
6. Borst W. N., “Construction of engineering ontologies,” University of Twente, Enschede, NL-Centre for Telematics and Information Technology, 1997
7. Uschold, M, Gruninger, M, Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity, SIGMOD Record, Vol. 33, No. 4, December 2004
8. Бачкова И., Интегрирани системи за моделиране и управление, www.iit.bas.bg/esf40/phd-lecture-0110/L.../I_Batchkova_txt.pdf
9. Unified Modeling Language: Infrastructure, Version UML 2.2, Feb. <http://www.omg.org/spec/UML/2.2/Infrastructure/>
10. OWLWeb Ontology Language Reference. W3C Recommendation, 10 Feb, 2004, <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/>
11. Kiko K., Atkinson C., A Detailed Comparison of UML and OWL, University of Mannheim, Fakultät für Mathematik und Informatik Lehrstuhl für Softwaretechnik, A5, 6, D-68159 TR-2008-004, Mannheim, Germany
12. Dobrev M., D. Gocheva., I. Batchkova., An ontological approach for planning and scheduling in primary steel production, In Proceedings of the 4-th International IEEE Conference on Intelligent Systems, Vol.1, pp.6-14: 6-19, Varna, Bulgaria, September 6-8
13. Gocheva D., I. Batchkova, M. Dobrev, K. Velev, Domain ontology development for engineering support systems, International Conference AUTOMATICS AND INFORMATICS'09, 29 September - 4 October 2009, Sofia, Bulgaria.



Фиг. 3: Логически анализ в онтологичен модел на продукти от прокатни производства



Фиг. 4: Структура на клас Material_Definition_Property_EBMR