

## **ONTOLOGIES AND STANDARDS IN RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEMS**

**Kostadin STOYANOV, Daniela GOCHEVA, Idilia BATCHKOVA, Georgi POPOV**

**Abstract:** *The main aim of this article is to examine some issues related to the interoperability of information and control systems in the enterprises and to propose a concept for its achievement in reconfigurable manufacturing systems through the use of ontologies.*

**Key words:** *IT, interoperability, ontology, reconfigurable manufacturing systems*

## **ОНТОЛОГИИ И СТАНДАРТИ В РЕКОНФИГУРИРАЩИ СЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ**

**Костадин СТОЯНОВ, Даниела ГОЧЕВА, Идилия БАЧКОВА, Георги ПОПОВ**

**Абстракт:** *Настоящата статия има за цел да разгледа някои от проблемите, свързани с оперативната съвместимост на информационно-управляващите системи в предприятията и да предложи концепция за нейното постигане в реконфигуриращи се производствени системи, чрез употребата на онтологии.*

**Ключови думи:** *информационни технологии, оперативна съвместимост, онтологии, РПС*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Тенденциите в развитието на производствените предприятия в периода след 1990 година се определят от три основни явления: иновационно развитие, напредък в областта на информационните и комуникационни технологии и конкуренция в глобализирания се пазар. Нарастването на технологичното знание повишава комплексността на производствените процеси и едновременно с това повишава в значителна степен сложността на средствата за производство и обслужващите ги информационни и управляващи системи. Липсата на оперативна съвместимост между информационните и управляващи системи на предприятията е очевидна пречка както за ефективната работа на предприятията, така и за постигането на висока степен на гъвкавост в случаите на налагаща се реконфигурация. Постигането на оперативна съвместимост на предприятията е доста сложна и амбициозна задача и въпреки сериозния напредък в областта на информационните и комуникационни технологии, софтуерното инженерство и стандартизацията в тази област, все още се прилагат незадоволителни решения. Сътрудническите страни трябва да обменят информация и трябва да имат едно и също разбиране на смисъла на обменяната информация, да се доверят както на самата комуникация и на валидността на съдържанието ѝ.

Цел на доклада е да представи анализ на използването на онтологии и стандарти за постигане на оперативна съвместимост в предприятията, както и да предложи концепция за тяхното съвместно използване, която да позволи безпрепятствен обмен на информация и знания между информационно-управляващите системи в предприятията за целите на реконфигурацията.

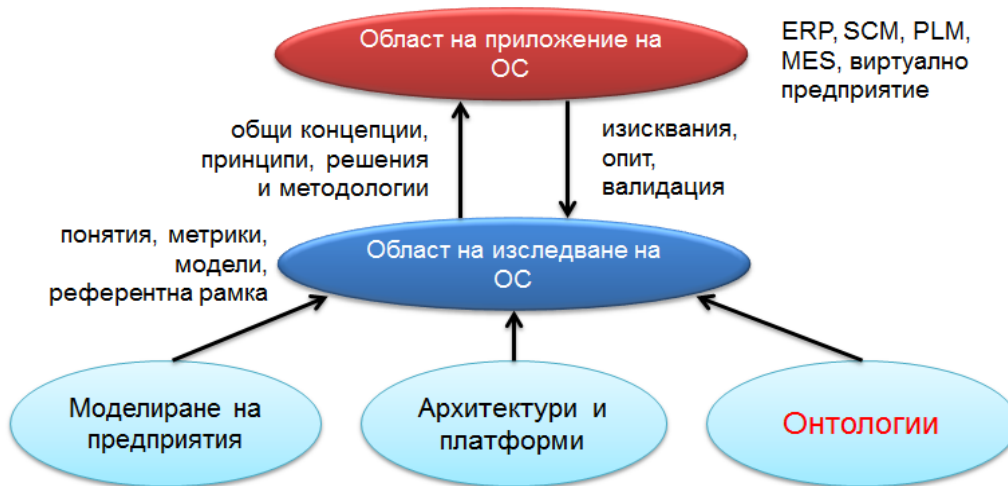
### **2. ПРОБЛЕМЪТ „ОПЕРАТИВНА СЪВМЕСТИМОСТ“**

#### **2.1. Определения за оперативна съвместимост**

Едно от първите определения на понятието „оперативна съвместимост“ (ОС) е дадено в речника на IEEE [1]: способността на две или повече системи или компоненти да обменят информация и да използват обменената информация. Vernadat [2] свързва оперативната съвместимост с възможността за комуникация между системи от едно ниво и взаимен достъп до тяхната функционалност. Kosanke [3] посочва и анализира различни дефиниции за оперативна съвместимост. Разгледана в трите аспекта структурен, семантичен и синтактичен, оперативната съвместимост е способността на различни видове компютри, компютърни мрежи, операционни системи и приложения да работят ефективно заедно, без предварително дефинирана комуникация, с цел ефективен обмен на информация. За компютърните науки, оперативната съвместимост е способността за обмен и използване на информация (обикновено в големи хетерогенни мрежи, съставени от няколко локални мрежи).

**2.2. Области на оперативна съвместимост**

Областта на изследване на оперативна съвместимост не зависи от конкретните области на приложение на ОС. Връзката между тези области е представена на фиг.1. и илюстрира, че на ОС се гледа като на общо понятие, което е независимо от конкретното приложение. Постигането на ОС е свързано с изследването и разработката на общи концепции, принципи, решения и методологии, които могат да бъдат използвани равнопоставено в разнообразни области на приложение [4].



**Фиг.1. Области на ОС [4]**

От друга страна, се обособяват връзки между областта на ОС и три изследователски области (моделиране на предприятията, архитектура и платформа, онтологии), които допринасят за разработването на ОС. Моделирането на предприятия осигурява концепции/езици за моделиране на изискванията за ОС, архитектура и платформи осигуряват ИТ, които да внедрят решенията за ОС, а онтологиите осигуряват семантични средства за общото разбиране на решенията за ОС.

**2.3. Ползи от постигането на оперативна съвместимост**

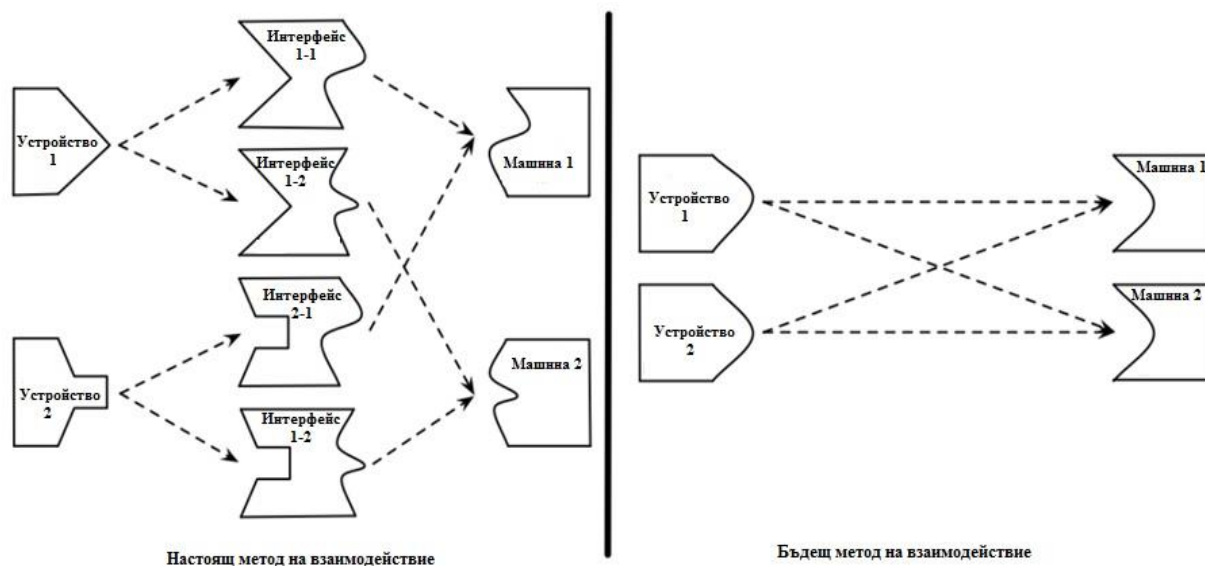
От гледна точка на машиностроенето, постигането на оперативна съвместимост е ключово предимство и дава възможност за намаляване на броя на различните интерфейси (софтуерни и хардуерни), които са необходими за интегрирането на различни системи [5]. На фиг.2 (от ляво) е даден пример на това, какво се получава, когато се добавят външни устройства към дадена система (като екипировка за мониторинг и диагностика). Без необходимите стандарти за постигане на ОС са необходими допълнителни интерфейси за всяко едно допълнително устройство, което води до увеличаване на времето за производство и увеличаване на цената на крайното изделие. Стандартизираните интерфейси позволяват на устройствата и машините да комуникират помежду си като значително намаляват времето за проектиране и необходимите усилия за стартирането на нова система. Крайната цел на постигането на ОС е да позволи на изследователите да се фокусират върху разработването на средства за разрешаване на конкретни производствени проблеми, а не да търсят методи, които да позволяват на отделните устройства, машини и софтуер да работят заедно в една единна система.

**3. ОНТОЛОГИИ**

**3.1. Определение за онтологии**

Философското понятие „онтология“ се използва вече две десетилетия в областта на компютърните науки в инженерен смисъл. Gruber [6] дава дефиницията, най-често цитирана в литературата: "An ontology is an explicit specification of a conceptualization" (Онтологията е явна спецификация на една концептуализация). Това определение е модифицирано от Borst [7] и Studer [8] като: "Онтологиите се дефинират като формална явна спецификация на споделена концептуализация" и е анализирано от Uschold [9]. „Концептуализация“ в конкретната дефиниция представлява абстрактен модел на това как мислят хората за нещата в света, обикновено ограничено в определена област; „явна спецификация“ изисква явни имена и дефиниции на понятията и релациите в абстрактния модел. Имената са термините, а дефинициите са спецификации на значението на понятията и релациите. Дефинициите посочват връзката на всеки термин с другите термини. „Формална спецификация“ според Uschold означава, че значението (смисъла) на термините е кодирано чрез формален език – на практика език за представяне на знания от областта на изкуствения интелект.

Формализацията е начин за изключване на нееднозначността, която е присъща на естествените езици и на някои неформални нотации, а също и средство, което осигурява автоматични интерфейси за получаване на нова информация от спецификацията на знанията. „Споделена“ концептуализация според Uschold означава, че основната цел на създадената с консенсус онтология е тя да се използва многократно в различни приложения и общности.



**Фиг.2. Методи на взаимодействие между устройства и машини с и без ОС [5]**

Развитието на онтолозиите преминава от ниво без формализация и системи за логически анализ (каталози, речници, файлове) към колекции от йерархии, фреймове и системи, изградени на логика. Сферите на приложение на онтолозиите са най-разнообразни: от основа за общ език и лесна комуникация между хора, през средство за оперативна съвместимост между компютърни системи и основа за формално кодиране в софтуерното инженерство, към структури на данни или метаданни, за търсене в хранилища за информация, за създаване на интелигентни системи и др.

### 3.2. Езици за дефиниране на онтологии

Анализът на съвременната употреба на онтолозиите показва, че фамилията от езици за представяне на знания, основаващи се на дескриптивни логики (Description logics (DLs)), представлява основата на по-голямата част онтологични разработки, които реално се прилагат в момента. Дескриптивните логики са подмножество на предикатните логики от първи ред и съчетават пълни и непротиворечиви логически основи и изразителност. Развитието на семантичния уеб и XML технологиите води до дефинирането на различни XML-базирани онтологични езици като XOL (Ontology Exchange Language), SHOE и OML (Ontology Markup Language). Езиците за представяне на формални онтологии, които в последните години търпят развитие и имат реално приложение в бизнеса и индустрията, са езиците, свързани с консорциума W3C: RDF, RDFSchema (RDFS) [10], Simple Knowledge Organization System (SKOS) и Web Ontology Language (OWL) [11].

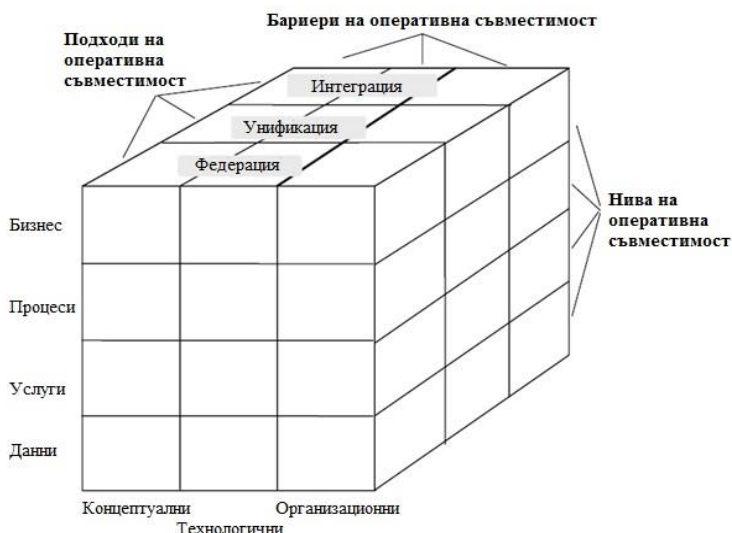
### 3.3. Видове онтологии според нивото на общност

Онтолозиите могат да бъдат класифицирани на базата на два различни показателя – ниво на формалност и ниво на общност. По отношение на нивото на формалност онтолозиите биват: неформални, полужформални и формални. Според нивото на общност се разграничават онтологии от високо ниво, онтологии на предметна област (домейн онтологии), онтологии на задачи, онтологии на методи, приложни онтологии. Онтолозиите от високо ниво описват най-общите понятия, като: време, място, обект, материя, събитие, действие и т.н., които не зависят от конкретната задача или предметната област. Онтолозиите на предметната област (домейн онтологии), онтолозиите на задачите и тези на методите описват терминологично обхванатата предметна област, решаваните задачи и използваните за целта методи. Те специализират понятията от онтолозиите на високо ниво и включват общите понятия и релации за конкретната предметна област, задача или метод. Приложните онтологии са тясно специализирано описание на понятията и връзките на базата на онтолозиите от горните две нива. Те включват понятия, специфични както за съответната област, така и за конкретната задача или метод. В много от случаите тези понятия съответстват на ролите, които играят отделните елементи на предметната област, в случаите на конкретна дейност.

4. СТАНДАРТИ ЗА ОПЕРАТИВНА СЪВМЕСТИМОСТ

4.1. Референтна рамка за оперативна съвместимост

На фиг.3 е представена три дименсионната референтната рамка за постигане на оперативна съвместимост според ISO 11354-1:2011 [12]. Трите оси отговарят на: подходи за ОС, бариери срещу ОС и нива на ОС. Подходите, чрез които е възможно постигането на оперативна съвместимост са: интеграция, унификация и федерация. Постигането на оперативна съвместимост чрез *интеграция* означава, че съществува един общ формат за всички разработвани модели. При *унификация* съществува общ формат, но той съществува само на мета ниво и осигурява средства за семантична еквивалентност. Чрез подхода *федерация* може да се осъществява ОС, но това означава, че няма разработен формат и никой от партньорите не може да налага своите модели, езици и методи на работа, от което следва, че трябва да се създаде онтология.



Фиг.3. Референтна рамка за постигане на ОС [12]

Дефинираните от стандарта бариери при разработването на ОС са: концептуални, технологични и организационни. Концептуалните бариери са основните бариери пред оперативната съвместимост. Те са свързани със синтактични и семантични несъответствия на информацията и се отнасят както към моделите на високо ниво на абстракция (като например моделите на предприятието), така и към ниското ниво на програмиране (например недостатъчните възможности на XML да представя семантиката на данните). Типични технологични бариери са например несъвместимост на ИТ архитектури и платформи, на инфраструктура, операционни системи и т.н. Организационните бариери са свързани с несъответствия в организационната структура и управление, прилагани в предприятията.

Нивата, които се дефинират от стандарта, са четири на брой и са разпределени в следните области: бизнес ниво, ниво на процесите, ниво на услугите и ниво на данните. Бизнес нивото е свързано с начините за вземане на решения, методите на работа, законодателство, търговски подходи. Нивото на процесите се разглежда като последователност от услуги, които работят съвместно, последователно или паралелно. Оперативната съвместимост налага свързването на различни описания на процесите (документи или софтуер) в един общ процес, с цел верификация, симулация и изпълнение. Услугите трябва да работят съвместно с различни приложения (проектирани и внедрени независимо) и с хетерогенни бази данни. Оперативната съвместимост касае описанието (синтаксис и семантика) на услугите, механизмите за търсене на разпределени доставчици на услуги, ICT поддръжката и организационните проблеми, свързани с управлението на обмена на услуги. Нивото на данни разглежда различни модели на данни и различни езици за заявки, които трябва да работят заедно за търсене и споделяне на информация от различни разпределени хетерогенни бази данни. Пречка за това са различните синтактични и семантични начини за представяне на информацията.

4.2. IEC/ISO 62264

Стандартът ISO/IEC 62264 [13], известен още като ANSI/ISA-S95, цели стандартизация на обмена на данни между информационните системи и системите за управление на производството. Стандартът предоставя модели и терминология 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 и обектни модели, които описват информацията, която се обменя между на системите за управление на предприятията и системите за управление на производството.

#### 4.3. ISO 10303 (STEP)

ISO 10303 е международен стандарт за обмен на данни за продуктите и в частност между различни CAD/CAM системи. По-известен е като STEP и се разработва под егидата на ISO/TC 184/SC4 [14]. Той е алтернатива на хаоса от стандарти и формати, и е доказан начин за осигуряване на бърз и надежден обмен на данни за продуктите между информационно-управляващите системи, на различни нива на интеграция. Задачата на STEP е да осигури механизъм за описание на данните за продукта във всеки етап от жизнения му цикъл, независимо от конкретната система. Това описание е подходящо не само за неутрален обмен на файлове, но е и основа за имплементация и споделяне на бази данни и архиви. Информацията от всички етапи на жизнения цикъл на продукта може да се използва за разнообразни цели и да бъде обхваната и използвана от много и различни по вид и възможности компютърни системи, намиращи се на различни нива, в различни организации и дори в различни точки на света.

#### 4.4. IEC 61499

Стандартът IEC-61499 [15] дефинира основните понятия, референтна архитектура и модели при разработката на модулни, многократно използвани и отворени разпределени системи за управление. Основният изграждащ компонент, дефиниран в IEC-61499, е функционалният блок (ФБ), като всяка система за управление може да бъде описана като логически свързани помежду си функционални блокове чрез техните входно/изходни данни и събития. Стандартът дефинира четири вида модели: системен модел, модел на устройствата, модел на ресурсите и модел на приложение. Моделите на ниво "приложение" се изграждат на базата на мрежа от основни и/или съставни функционални блокове и могат да бъдат изпълнявани от едно или повече устройства, съдържащи един или повече ресурси. Моделите на ниво "ресурс" осигуряват изпълнението на управлението на базата на определен времеви график и комуникационните интерфейси. Моделите на ниво "устройство" представляват един или повече хардуерни компонента, съдържащи блок за управление с един или няколко модела на ниво "ресурс", които определят специфичните функции на производствения процес.

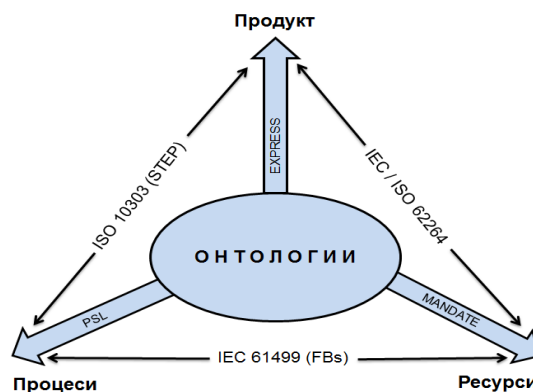
#### 4.5. Съвместно използване на стандартите за оперативна съвместимост в производството

Постигането на оперативна съвместимост между системите на ниво предприятие и тези на ниво производство не е лесна задача, главно поради голямото разнообразие от системи, терминологии и бизнес логика. Поради многообразието от информационни потоци, които съществуват при обмена на данни от тези две нива, се срещат значителни трудности при тяхното наблюдение и управление, породени от техния произход и двусмислено съдържание. Ако данните, които са необходими за производството на даден продукт не са валидни, то това влошава и производителността на производствената система. Накратко представените по-горе стандарти като IEC/ISO 62264, ISO 10303 (STEP) и IEC 61499 биха могли да осигурят на базата на споделена онтология, едно общо решение на проблема, свързан с оперативната съвместимост между различните нива на управление на предприятието. На фиг.4 е представена конкретната роля на отделните стандарти за постигане на ОС, възможните за използване езици, както и връзките между тях, съгласно [16].

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на направения анализ на проблемите, свързани с постигането на оперативна съвместимост и методите за нейното постигане могат да бъдат направени следните изводи и заключения:

- постигането на оперативна съвместимост дава възможност за намаляване броя на интерфейсите, необходими при интегрирането на нови системи;
- съществува разнообразие от стандарти, които са насочени към различни аспекти на оперативната съвместимост, но в областта на производството добра основа за нейното постигане имат стандартите ANSI/ISA S95, ISO 10303 (STEP) и IEC 61499;
- онтологиите са в основата на създаването на многократно използвани бази знания и могат да бъдат успешно приложени за постигане на различни видове оперативна съвместимост, в това число и в областта на РПС;
- езиците за разработване на онтологии са разнообразни и се класифицират по различни признаци, но най-утвърден и общоприет е OWL-DL;
- в областта на РПС не е известен подход за постигане на оперативна съвместимост.



Фиг.4. Интегрирано използване на стандарти за постигане на ОС [16]

## ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE, Standard Computer Dictionary – A Compilation of IEEE standard Computer Glossaries. NY. 610-1990. ISBN 1559370793.
2. VERNADAT F., CIMOSA - A European development for enterprise integration. Part 2: Enterprise modelling. In Enterprise Integration Modeling (C. Petrie, Ed.). The MIT Press, Cambridge, MA. 1992. pp. 189- 204.
3. KOSANKE K., "ISO Standards for Interoperability: a comparison", First International Conference on Interoperability of Enterprise Software and Applications, INTEROP-ESA'2005, Geneva, 2005
4. CHEN D., DASSISTI M., ELVESAETER B., "Enterprise Interoperability Framework and knowledge corpus", 2007.
5. DORNFELD D., WRIGHT P., HELU M, VIJAYARAGHAVAN A., „Enabling Manufacturing Research through Interoperability”, Green Manufacturing and Sustainable Manufacturing Partnership, 2009.
6. GRUBER T. R., "A translation approach to portable ontology specifications, Knowledge Acquisition", 5 (2), pp. 199-220, 1993.
7. BORST W., "Construction of Engineering Ontologies", University of Twente. Enschede, NL-Centre for Telematics and Information Technology. 1997.
8. STUDER R., BENJAMINS R., FENSELI D., "Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering", 25(1–2):161–198, 1998.
9. USCHOLD M., GRUNINGER M., "Ontologies and semantics for seamless connectivity", SIGMOD Record, 33(3), 2004
10. BECKETT D., McBRIDE B., "RDF/XML Syntax Specification (Revised)", W3C, 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/>.
11. McGUINNESS D., HARMELEN F., "OWL Web Ontology Language - Overview", W3C, 2004. URL: <http://www.w3.org/TR/owl-features/>.
12. DACLIN N., CHEN N., VALLESPIR B., "Methodology for Enterprise Interoperability", Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
13. IEC 62264-1:2003, Enterprise-control system integration -- Part 1: Models and terminology.
14. PRATT M. J., „Introduction to ISO10303 – the STEP Standard for Product data exchange", Journal of Computing and Information Science in Engineering 1(1), pp.102-103, 2001.
15. IEC61499, International Standard IEC61499, Function Blocks, Part 1 - Part 4, International Electrotechnical Commission (IEC), Technical Committee TC65/WG6, IEC Press, January, 2005.
16. FP6-IST-016649, „Development of manufacturing ontology PABADIS' PROMISE ontology (P2 Ontology)", Deliverable 3.1, 2006.

## КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

маг. инж. Костадин СТОЯНОВ  
 Технически Университет - София, бул. св. Климент Охридски № 8, София  
[kostadin\\_sto@abv.bg](mailto:kostadin_sto@abv.bg)

д-р инж. Даниела ГОЧЕВА  
 Химикотехнологичен и Металургичен Университет - София, бул. св. Климент Охридски № 8, София  
[dani@uctm.edu](mailto:dani@uctm.edu)

проф. д-р Идилия БАЧКОВА  
 Химикотехнологичен и Металургичен Университет - София, бул. св. Климент Охридски № 8, София  
[idilia@uctm.edu](mailto:idilia@uctm.edu)

проф. д.т.н. Георги ПОПОВ  
 Технически Университет - София, бул. св. Климент Охридски № 8, София  
[gerpop@tu-sofia.bg](mailto:gerpop@tu-sofia.bg)