



ХИМИКОТЕХНОЛОГИЧЕН И МЕТАЛУРГИЧЕН УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛТЕТ ПО ХИМИЧНО И СИСТЕМНО ИНЖЕНЕРСТВО

КАТЕДРА „Автоматизация на производството ”

маг. инж. Даниела Георгиева Гочева

**МАТЕМАТИЧНИ И ИНФОРМАЦИОННИ МОДЕЛИ ЗА
ИНТЕГРАЦИЯ И ОПЕРАТИВНО УПРАВЛЕНИЕ НА
МЕТАЛУРГИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация

за придобиване на образователната и научна степен „доктор”
по научна специалност 5.2. Електротехника, електроника и автоматика
(Автоматизация на производството)

Научен ръководител: чл. кор. проф. дтн Минчо Хаджийски

Научно жури:

1. проф. д-р Коста Бошнаков – председател, рецензент
2. акад. Васил Сгурев – рецензент
3. чл. кор. проф. дтн Минчо Хаджийски
4. проф. дтн Красимира Стоилова
5. проф. дикн Владимир Йоцов

София, 2014

Дисертационният труд е написан на 204 страници, съдържа 99 фигури и 9 таблици. Цитирани са 199 източника.

Представеният дисертационен труд е обсъден и приет за защита на заседание на разширен научен съвет на научното звено на катедра „Автоматизация на производството”, състояло се на 18.11.2014 година.

Публичната защита на дисертационния труд ще се проведе на 29.01.2015 от 14.00 часа в зала 424, сграда „А” на ХТМУ.

Материалите са на разположение на интересувашите се на интернет страницата на ХТМУ и в отдел „Научни дейности”, стая 406, етаж 4, сграда „А” на ХТМУ.

ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

Абривиатура	Наименование на английски	Наименование на български
ANSI/ISA	American National Standards Institute/ International Society of Automation	Американски институт по стандартизация/Международна организация по автоматизация
IEC	International Electrotechnical Commision	Международна комисия по електротехника
MDA	Model Driven Architecture	Моделно направлявана архитектура
MDI	Model Driven Interoperability	Моделно направлявана оперативна съвместимост
OWL	Web Ontology Language	Език за Web онтологии
OWL2	Web Ontology Language 2	Език за Web онтологии 2
RDF	Resource Description Framework	Рамка за описание на ресурси
RDFS	Resource Description Framework Schema	Схема за описание на ресурси
UNA	Unique Name Assumption	Концепция за уникалност на имената
CWA	Closed World Assumption	Концепция за „затворена среда“
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language	Протокол и език за заявки върху RDF данни
SPIN	SPARQL Notation Inferencing	Език за правила чрез SPARQL върху RDF данни
UML	Unified Modeling Language	Унифициран език за моделиране
W3C	World Wide Web Consortium	Организация по стандартизация за World Wide Web технологии
XML	Extensible Markup Language	Разширим маркиращ език
RDB	Reletional Data Base	Релационна база данни
BNF	Backus Naur Form	Форма на Бекус – Наур

СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ ОЗНАЧЕНИЯ

	означения
A	Площ
ϵ	Степен на чернота
τ	Пропускателна способност
α	Поглъщателна способност
q	Плътност на топлинния поток
T	Абсолютна температура (К)
θ	Температура (С)
t	Време
δ_{kj}	Символ на Кронекър
S	Дължина на пътя на лъча
$\bar{S}$	Геометрично средна дължина на лъча
L_e	Ефективна дължина на лъча
F	Ъглов коефициент
ϵ_Σ	Приведен коефициент
ρ	Плътност
λ	Коефициент на топлопроводност
C	Специфичен топлинен капацитет
	индекси
b	абсолютно черно тяло
g	газова среда
λ	дължина на вълната
j, k	повърхности
$j - k$	от повърхност j към k

Увод

Тенденциите в развитието на производствените предприятия се определят от три основни явления: нарастване на технологичното знание и иновационно развитие, напредък в областта на информационните и комуникационни технологии и конкуренция в глобализацията на пазара.

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.

Използването на различен тип модели във всички фази от жизнения цикъл на системите осигурява условия за гъвкавост и ефективност при проектирането, интеграцията и оперативна съвместимост на системите по време на тяхната работа и улеснява провеждането на модернизация и реинженеринг на предприятията.

В момента активно се развиват семантичните технологии и мрежи, които се прилагат за постигането на оперативна съвместимост между разнообразните и многобройни информационно-управляващи системи на предприятията.

Технологичната инфраструктура е от ключово значение за успешното управление на информацията, както за тези, които създават информация, така и за тези, които я използват, за да може да се организират, споделят и обменят всеки тип данни и съдържание, по всяко време и навсякъде.

I. Глава Първа. Обзор по темата „Математични и информационни модели за интеграция и оперативно управление на металургични производства“

1.1. Изисквания към информационно – управляващите системи на предприятията

Основните предизвикателства пред съвременното производство са свързани с произвеждането на качествена продукция и постигане на устойчиво развитие – икономическо, социално и на околната среда. Тези предизвикателства налагат реинженеринг и реорганизация на предприятията с оглед производството „на правилния продукт в необходимото количество на правилното място и в точното време“ и са свързани със следните изисквания към информационно – управляващите системи на предприятията:

- Преместване към разпределена архитектура и гъвкава (agile) организация, основана на разделението на знанието продукт/ресурс;
- Използване на абстрактни, общи и гъвкави описания на взаимодействието между елементите на корпоративните системи;
- Постигане на реактивен и проактивен мениджмънт и управление;
- Постигане на автономност и самоорганизация на управлението и мениджмънта;
- Преместване на центъра на тежестта на управлението към по-високите нива на вземане на решения.

Основни проблеми на сегашните производствени предприятия по пътя към постигане на гореизброените изисквания са:

- Липса на оперативна съвместимост между различните подсистеми за обработка и управление на информацията;
- Прилаганият принцип на централизирано управление, ограничаващ степента на свобода при вземането на решения;
- Ограничено използване на опита и интелекта на хората, заети в производството;
- Липса на съгласуваност между отделните системи.

1.2. Интеграция и оперативна съвместимост в предприятията

Едно от първите определения на понятието „оперативна съвместимост“ е дадено в речника на IEEE: способността на две или повече системи или компоненти да обменят информация и да използват обменената информация. 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. Терминът „оперативна съвместимост“ има смисъл на съвместно съществуване и сътрудничество, докато „интеграция“ се отнася до идеята за сътрудничество и уеднаквяване. Въпреки, че до момента са разработени голям брой подходи и проекти за оперативна съвместимост, липсва единствена възприета от всички дефиниция. Тенденциите в интеграцията и моделирането на предприятията са към оперативно съвместими системи, а не към скъпо струващи монолитни решения и проекти за цялостна интеграция.

Изследванията в областта на моделно направляваната оперативна съвместимост (MDI) отчита необходимостта от използване на онтологии и семантични анотации, но в крайна сметка тази концепция е развита и приложена най-вече на ниво данни и чрез използването на унифицирания език за моделиране (UML). Възможностите за логически изводи и разсъждения са твърде ограничени.

1.3. Онтологии

Философското понятие „онтология“ се използва вече две десетилетия в областта на компютърните науки в инженерен смисъл. Gruber дава дефиницията, най-често цитирана в литературата: "Онтологията е явна спецификация на една концептуализация". Това определение е модифицирано от Borst и Studer като: "Онтологиите се дефинират като формална явна спецификация на споделена концептуализация" и е анализирано от Uschold. Терминът „концептуализация“ 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, „формална спецификация“ 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 да се избегне двусмислието и да се осигури автоматизиран логически анализ и извод на нова информация. Терминът „споделена“ концептуализация предполага, че основната цел на създадената с консенсус онтология е тя да се използва многократно в различни приложения и общности.

Анализът на съвременната употреба на онтологиите 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.

1.4. Преглед и анализ на технологиите за семантичен уеб

Инициативата за създаването на семантична мрежа е на създателя на World Wide Web – Тим Бърнърс-Лий и основания от него консорциум World Wide Web Consortium (W3C) при участието на голям брой изследователи и индустриални партньори. В допълнение към класическия “Web of documents”, консорциумът W3C развива нови технологии за поддържане на “Web of data”. Терминът Семантичен уеб обединява технологии за създаване на Web хранилища за данни, езици и правила за управление и свързване на

данни (RDF, RDFS, SPARQL, OWL, OWL2). Семантичният уеб осигурява нови функционалности чрез технологиите през мрежата, нови възможности за интеграция на данни, търсене и семантично посредничество, подпомага вземането на решения и др. В момента стандартите за семантичен уеб се развиват активно и приложенията на семантичния уеб навлизат във всички области и сфери на реалността.

Семантичните хранилища могат динамично да интерпретират метаданни и онтологии, които дефинират структурата и семантиката на данните и заявките за търсене. В сравнение с подхода на релационните системи за управление на бази данни, това дава възможност за по-лесна промяна и комбиниране на моделите на данни, заедно с автоматизирано интерпретиране на данните.

1.5. Стандарт ANSI/ISA-S95

Стандартът ANSI/ISA-S95, приет по-късно като ISO/IEC-62264 цели да дефинира интерфейси между информационно-управляващите системи в производствените предприятия, стартирайки от системите на бизнес ниво и системите за оперативно управление на производството. Стандартът представлява споразумение между водещи фирми за създаване на обща рамка и насоки за проектиране и интеграция на системи, независимо от нивото на автоматизация и от конкретните производствени и бизнес системи. Моделите и терминологията, дефинирани в стандарта ANSI/ISA-S95 представят най-добрите практики за интеграция, обхващат целия жизнен цикъл на предприятията, приложими са за подобряване на съществуващите възможности за интеграция, без да зависят от степента на автоматизация в предприятията. Стандартът не е ограничаващ, не предлага единствен начин за интеграция и може да се използва съвместно с други решения за интеграция. Той предлага решения за предприятия с непрекъснати, дискретни и периодични производства. Дефинициите на моделите, обектите и техните атрибути са на необходимото ниво на абстрактност и общност, така че стандартът да може да бъде използван в производствени предприятия от най-различен тип.

В Част 1 на стандарта ANSI/ISA-S95 се специфицират информационните потоци между нива 3 и 4 на йерархичния модел на предприятията, като се дефинират границите на действие на бизнес системите и системите за управление на производството. В част 1 са представени йерархичен модел на оборудването, йерархичен функционален модел на нивата на планиране и управление и функционален модел на потоците от данни. Технологиите на интерфейсите между бизнес системите и системите за управление на производството е показана чрез UML диаграми, които детайлизират информацията, която се обменя за това: (i) как да се произведе продукт, (ii) какви ресурси са необходими и налични за това, (iii) какво, къде и кога да се произведе и (iiii) какво е произведено с какви ресурси са използвани. Дефинираните обектни модели се доразвиват и специфицират във втората част на стандарта, като се специфицират атрибутите за всички обекти, дефинирани в първата част. Дефинициите на атрибутите са абстрактни, което не ги свързва с определена реализация или типове данни. Стандартът не задължава използването на всички модели, обекти и атрибути; в зависимост от конкретната задача моделите могат да бъдат допълвани или редуцирани.

1.6. Моделиране на индустриални термични агрегати

Пещите за нагряване на стоманени полуфабрикати се явяват основно звено в производствената верига за горещо валцуване. В тях се нагряват продукти (сляби, блуми или заготовки) до определена температура осигуряваща пластичност, достатъчна за последваща обработка чрез деформация. Управлението на пещите би следвало да обезпечи точни параметри на нагряване при ограничения, наложени от технологиите на

нагриване и валцуване, заедно с минимален разход на енергия. До голяма степен качеството на продуктите зависи от процесите на нагриване, които трябва да се контролират в тесни граници: време за нагриване, температури, състав на пещните газове и атмосфера на пещта. В зависимост от разнообразието на произвеждания прокат, към пещите се предявяват различни изисквания за едновременно нагриване на продукти с различни геометрични и термични (по отношение на химичния състав) характеристики. Двата процеса нагриване и валцуване са взаимно зависими. Темпът на работа на пещите се определя от работата на валцовия стан, където възникват често планови (при смяна на профилите) и непланови престои. Измерването на температура в производствени условия в пещите е трудно, а измерването на температурите във вътрешността на нагривания метал – невъзможно. Големото разнообразие математични модели се определя от различаващите се пещи и станове според технология, конструкция, геометрия и производителност, от различните функции на системите за управление, от тяхната интегрираност със системите за управление на валцовия стан и системите за оперативно управление на стоманодобивните производства.

Изчисляването на радиационния топлообмен е ключов въпрос при проектирането и експлоатацията на нагревателните агрегати. Радиационният пренос на топлина е част от сложна задача, която обикновено включва съвместно решаване на основните уравнения на топлообмен, понякога и масообмен и химични реакции. Основните затруднения, които могат да се посочат идват от факта, че интегро-диференциалните уравнения на излъчване в недиатермична среда имат точно решение само при опростяващи допускания за радиационните свойства на средата и хомогенни гранични условия.

1.7. Изводи от литературния обзор, цели и задачи на дисертационния труд:

От направения литературен обзор могат да бъдат направени следните по-важни изводи:

1. Редица проблеми при съвместната работа на системите за управление на производството и бизнеса често се дължат на нееднозначност при интерпретация на обменяната информация.
2. Семантичните уеб технологии предоставят широки възможности за интеграция и оперативна съвместимост. В частност, онтологичните езици OWL-DL, създадени на базата на дескриптивни логики, реално се прилагат в бизнеса и индустрията.
3. На базата на най-добрите практики, стандартът ANSI/ISA-S95 осигурява общи рамки и референтни модели за интеграция на системите за управление на бизнеса и производството.
4. В момента съществува голямо разнообразие от модели и софтуерни средства за моделиране и оперативно управление на металургични производства, които обаче трудно могат да бъдат отново използвани при ново строителство или модернизация поради тяхната несъвместимост.

В резултат на анализа на научните изследвания и направените изводи, към дисертационния труд е поставена следната цел: да обобщи знания, методи и средства от областта на математичното и информационно моделиране и да предложи онтологично направляван подход за интеграция и оперативно управление в металургията.

Така формулираната цел на дисертационния труд изисква решаването на следните конкретни задачи:

1. Да се предложи концептуална рамка на онтологично направляван подход за оперативна съвместимост на информационно – управляващите системи на предприятията.

2. Да се разработи семантично ориентирана мета онтология за формализиране на най-общите аспекти на функциониране на предприятията, базирана на утвърдени стандарти.
3. Да се предложи подход за създаване на домейн онтологии в областта на металургията с използване на разработената мета онтология.
4. Да се разработят методи за оперативна съвместимост в предприятията на базата на предложения подход.
5. Да се разработи система от математични модели на основните топлинни процеси в индустриални нагревателни агрегати.
6. Да се предложи онтология на модели, методи и софтуерни средства за интегриране на разработените математични и информационни модели за оперативно управление на металургични производства.

II. Глава Втора. Математични и информационни модели за интеграция и оперативна съвместимост

Предложена е обобщена концепция за създаване на модели в областта на производствените системи с оглед на създаването на подход, методи и средства за постигане на интеграция и оперативна съвместимост. Разработен е онтологично направляван подход за оперативна съвместимост в предприятията, който позволява споделяне и обмен на информация и знания. Създадени са методи за оперативна съвместимост на базата на предложения подход.

2.1. Анализ на видовете модели

Разнообразието от модели се обуславя от разнообразието от аспекти и множеството предлагани методи. В предложения подход, моделите се създават на различно ниво на абстракция с цел да бъдат използвани многократно. Интеграцията на математични и информационни модели се състои в:

- Създаване на мета модели;
- Общи процедури при създаване на модели;
- Общ подход при избор на модели;
- Общи процедури при развитие на моделите.

2.2. Анализ на основните процедури при създаване на модели

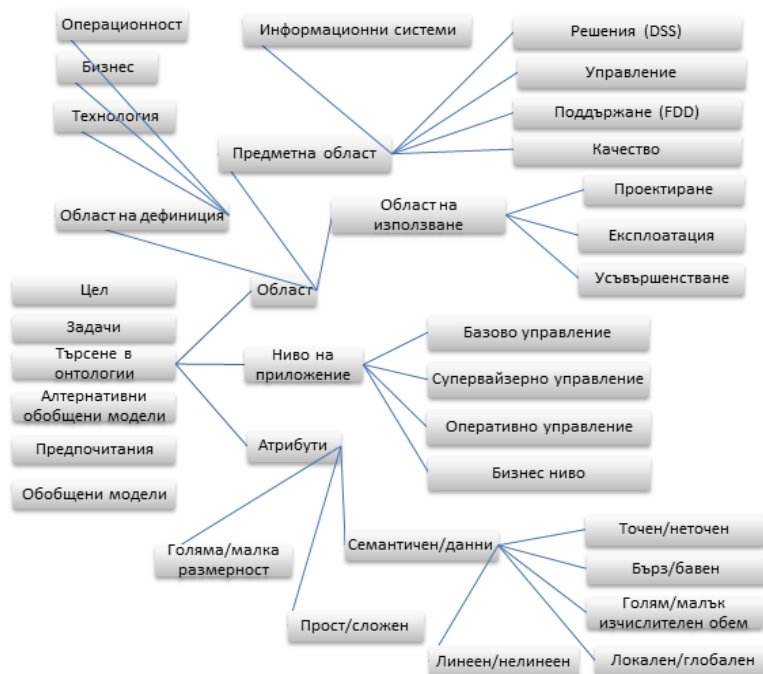
Една от основните и най-трудни задачи при създаването на модели е свързана с избора на процедури за тяхното създаване: структурни и функционални процедури. При моделирането се стартира с прилагането на структурни процедури, свързани с избора на теоретичен подход, метод за решаване и обхват на модела. Функционалните процедури са съпътстващи процедури при създаването на модели, върху чиито свойства са наложени специални изисквания и ограничения: апроксимация, редукция, линеаризация, модификация и др.

2.3. Основни етапи при използването на модели

Основните етапи в процеса на интегрирано използване на модели в производствените системи са представени на фиг.2.6.



Фиг.2.6: Последователност на дейности при интегрираното използване на модели
Схема на възможните алтернативи при избор на модел е показана на фиг.2.7.



Фиг.2.7: Етап „Избор на модел“

След избор на модел се прилагат процедури за постигане на еднозначност на модела (фиг.2.8). Основна процедура е параметризацията на моделите, за информационните модели могат да се реализират различни процедури с цел постигане на еднозначност.



Фиг. 2.8: Процедури по еднозначност

Развитието на моделите има за цел подобряване на показателите им (точност, обхватност, бързодействие) чрез еволюционна промяна на структурата (градивни блокове и връзки между тях), алгоритмите на градивните блокове и параметрите им (фиг.2.10). След оценяване на текущите индекси за ефективност се избират процедури за реализация на методите за обучение и се дефинират препоръки за промени в структурата, алгоритмите или параметрите на моделите. След вземането на решение и извършване на адаптация се достига до текущ модел. Второто направление на процедурите по развитие на моделите се осъществява чрез методите за извличане на информация (Data Mining) и може да се базира на правила, прецеденти или онтологии.



Фиг. 2.10: Процедури по развитие на моделите

2.4. Подход за онтологично направлявана оперативна съвместимост

В дисертацията е представен единен подход за управление на данни чрез:

- Представяне на семантиката на данните в техния контекст;
- Обединяване на разпределени хетерогенни източници на данни в гъвкава и адаптивна структура;
- Споделяне, обмен и извличане на данни, информация и знания.

2.5. Концептуална рамка

Предложеният подход за оперативна съвместимост в предприятията се базира на използване на езици и средства от различни технологични пространства. Технологичното пространство (ТП) в областта на софтуерното инженерство се дефинира като работен контекст с набор от свързани понятия и средства за моделиране. Използваните в рамките на подхода технологични пространства са следните (фиг.2.11):

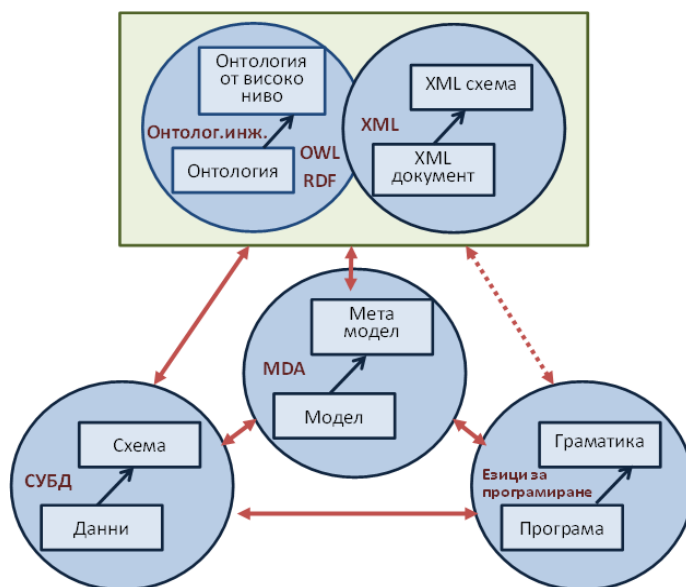
- Технологично пространство на мета моделите (наречено накратко ТП на MDA). Моделно направляваната архитектура (MDA) осигурява рамка за дефиниране на езици за моделиране за целите на разработката на софтуер, като използва модели във всички фази на разработката, автоматизирани трансформации на модели и генериране на програмен код. В основата е унифицирания език за моделиране UML.

- Технологично пространство на системите бази данни (в частност ТП на RDB). На този етап на разработка, технологичното пространство на системите бази данни е ограничено до подпространството на системите реляционни бази данни (RDB), които ефективно решават въпросите по управлението на данните в индустрията. Проблемите при използването на разнородни реляционни бази данни са свързани с липса на гъвкавост по отношение на промени, несъгласуваност на терминологията, излишък на данни и липса на централизиран контрол.

- Технологично пространство на онтологичното инженерство (наречено накратко ТП на RDF). В основата на това технологично пространство е стандартът RDF, който представлява базовата инфраструктура на семантичния уеб и свързаните данни. Чрез RDF може да се представи всеки друг модел на данни: релационен, XML, електронни таблици. Онтологичните модели на данни, информация и знания RDFS, OWL и OWL2 се изграждат върху RDF; данните и моделите на данни се съхраняват в единна среда, в която чрез езика SPARQL могат да се създават правила за обработване и извличане на информация. Семантичните уеб технологии задават семантиката на данните и осигуряват логически анализ (reasoning) върху схемата на данните и върху самите данни. Технологиите на онтологичното инженерство позволяват надграждане над съществуващите системи за мениджмънт на данните и осигуряват единен, еднозначен и унифициран достъп до данните в тях, без да ги видоизменят или дублират.

- Технологично пространство на езиците за описание (наречено накратко ТП на XML). Технологичното пространство на езиците за описание предоставя възможности за разработката на езици, които се използват за представяне, обмен и споделяне на структурирани и полуструктурирани данни. В основата е XML, ограниченията за валидност се дефинират чрез XML схеми.

- Технологично пространство на езиците за програмиране (наречено накратко ТП на BNF). BNF (Backus Naur Form) е едно от най-старите технологични пространства и е свързано с понятията програма и език за програмиране, известно още като пространство на абстрактния синтаксис.



Фиг. 2.11: Подход за онтологична оперативна съвместимост в предприятията

Между отделните технологични пространства съществуват еднопосочни и двупосочни връзки, които също се реализират по разнообразни начини и чрез различни методи. В дисертационния труд акцентът на разработените и използвани методи за конвертиране е ограничен най-вече до установяване на връзката между технологичното пространство на онтологичното инженерство (ТП на RDF) и останалите технологични пространства.

2.6. Систематизация на предлаганите методи

Постигането на оперативна съвместимост чрез използване на семантични технологии може да се представи като последователност от три основни процеса: конвертиране на данни от хетерогенни източници в семантичен модел, обработка на обобщени модели и извличане на информация (фиг.2.12). Оперативната съвместимост Z може да се представи

като кортеж от трите групи методи $Z=<A,B,C>$.



Фиг. 2.12: Систематизация на методите

На фиг.2.13а и фиг.2.13б са представени илюстрации на методи за трансформация и методи за динамично съответствие (mapping).



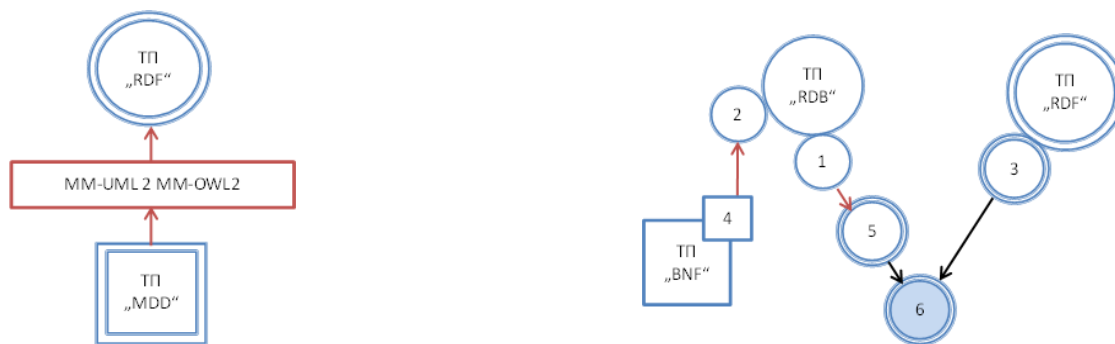
а) Илюстрация на динамично съответствие

б) Илюстрация на трансформация

Фиг. 2.13: Илюстрация на методите „динамично съответствие“ и „трансформация“ между различни ТП

Механизмът на метода „динамично съответствие“ се състои в използване на езици за дефиниране на съответствията. Данните остават там където са, няма дублиране и проблеми при актуализацията на данните. Данните се извличат при поискване. Трансформацията използва мета модели на различните технологични пространства и формулиране правила за трансформация на мета ниво. Данните физически се прехвърлят в онтологичните програмни средства за редактиране и анализ. При промяна в данните, трансформацията се повтаря. На фиг.2.14а е илюстриран и метод за динамично съответствие на UML модели в OWL онтологии, който е използван при създаването на референтна мета онтология на предприятията и е представен в Трета глава на дисертацията.

На фиг.2.14б е илюстриран метод на онтологична интеграция, представящ интеграцията на резултати, получени в технологичното пространство на езиците за програмиране, които се съхраняват в технологичното пространство на системите бази данни във вид на база данни (2), която заедно с база данни (1) се интегрира в онтология (5). Онтологиите (5) и (3) могат да бъдат допълнително интегрирани в референтната онтология (6).



а) Илюстрация на метода “UML2OWL”

б) Илюстрация на метод за интеграция

Фиг. 2.14: Илюстрация на конвертиране “UML2OWL” и интеграция

При метода „федерация на данни“, се използват възможностите на езика за заявки върху данни, представени в RDF формат SPARQL за конструиране на графи и за създаване на правила. За целта всеки източник на данни се представя като RDF граф чрез базов URI и чрез клаузите SERVICE и GRAPH се извличат данни от разнородни източници в обобщения модел. Методите за обработка на обобщени модели включват: редактиране, създаване (модификация, промяна на имена и свойства) на класове, релации и атрибути, промяна в йерархиите на понятията и на свойствата, логически анализ върху интегрирания модел, изследване за съгласуваност, създаване на дедуктивни йерархии и др.

2.7. Реализация на подхода

При конкретните реализации на методите за оперативна съвместимост са използвани следните софтуерни средства:

- От Технологичното пространство на онтологиите:
 - Конвертиране на модели и данни: RDB2Onto, D2RQ;
 - Обработка на обобщени модели: Protégé 3.5, Protégé 4.1, TopBraid Composer;
 - Извличане на информация: Sesame, Jena Fuseki, TopBraid Live Server;
 - Система за логически извод: DL reasoners: Pellet, FaCT++;
- От Технологичното пространство на системите бази данни: MS Access, MySQL;
- От Технологичното пространство на мета моделите: Visual Paradigm;
- От Технологичното пространство на езиците за програмиране: MATLAB, FORTRAN 77.

2.8. Изводи и заключения към втора глава

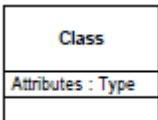
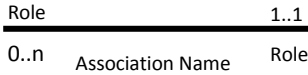
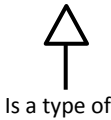
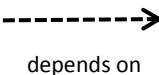
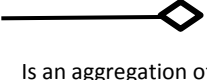
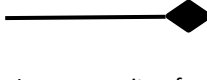
1. Предложена е единна концепция на методите за създаване, развитие и усъвършенстване на различни по вид и предназначение модели.
2. Предложен е онтологично направляван подход за оперативна съвместимост в предприятията. Подходът осигурява възможности за интегриране на различни видове модели (на задачи, на методи, на продукти) във вид на частични (за индустрията) и конкретни (за предприятието). Подходът притежава следните важни предимства:
 - надграждане над съществуващите технологии за мениджмънт на данни;
 - интеграция на общи референтни модели с конкретни домейн модели;
 - модулност и многократна използваемост, използване на стандарти;
 - достъп, обмен и извличане на информация от разнородни модели на данни;
 - формален машинно обработваем семантичен модел на данните, гъвкав и приспособим на промяна в структурата;
 - логически анализ върху схемата на данните и върху самите данни.

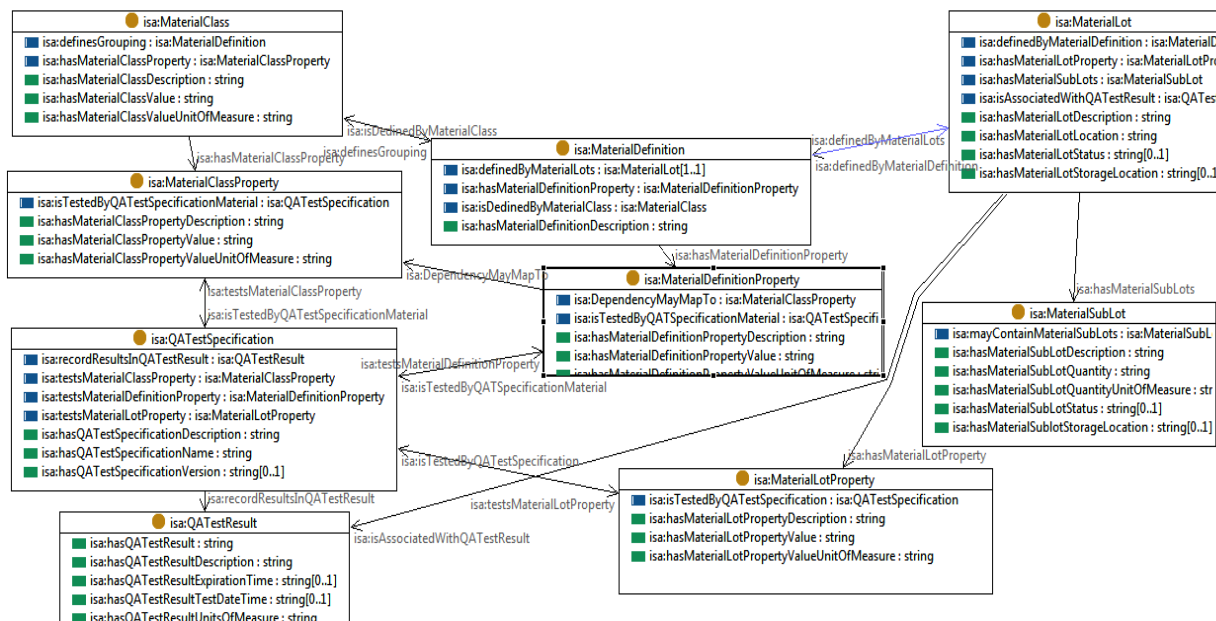
III. Глава Трета. Мета онтология за интеграция на системите за производство и управление

3.1. Отношения за съответствие между UML модел и онтология

Международният стандарт за интегриране на информационно-управляващите системи в предприятията ANSI/ISA-S95 предлага обща терминология и съвместими информационни модели на обектите. В част 2 на стандарта тези модели са представени като UML диаграми на класовете, съгласно нотациите на унифицирания език за моделиране (UML). С цел представяне на обектните UML модели чрез OWL онтология, в дисертацията са предложени отношения за съответствие на мета ниво между UML и OWL (табл. 3.8).

Табл.3.1: Таблица на съответствията UML - OWL

UML нотация	Описание	OWL елемент	Предложено OWL съответствие
	Дефинира пакет, колекция от обектни модели, модели на състояния, случаи на използване и други UML модели.	owl:Class	owl:Class rdf:ID owl:disjointWith
	Дефинира клас от обекти, с един и същ тип атрибути. Всеки обект трябва да бъде уникално идентифициран. Не се посочват операции или методи за класовете.	owl:Class	owl:Class rdf:ID owl:DatatypeProperty rdfs:domain rdfs:range
	Асоциация - показва, че екземплярите на един елемент на модела са свързани с екземпляри на друг елемент на модела	owl:ObjectProperty	owl:ObjectProperty rdfs:domain rdfs:range owl:maxCardinality owl:minCardinality owl:Cardinality
	Генерализация - показва, че един елемент на модела е специализация на друг елемент на модела	rdfs:subClassOf	rdfs:subClassOf
	Зависимост - показва, че промяната на един елемент на модела може да повлияе на друг елемент на модела.	Няма съответен елемент	owl:ObjectProperty owl:cardinality
	Агрегация – специален вид асоциация и показва, че елемент на модела се състои от други елементи на модела.	Няма съответен елемент	owl:ObjectProperty rdfs:range rdfs:domain owl:disjointWith
	Композиция - силна форма на агрегация, от типа цяло-част, при която продължителността на живот на частта зависи от тази на цялото.	Няма съответен елемент	owl:ObjectProperty rdfs:range rdfs:domain owl:disjointWith



Фиг.3.11: Мета клас „Материали“

3.3. Изводи и заключения към глава трета

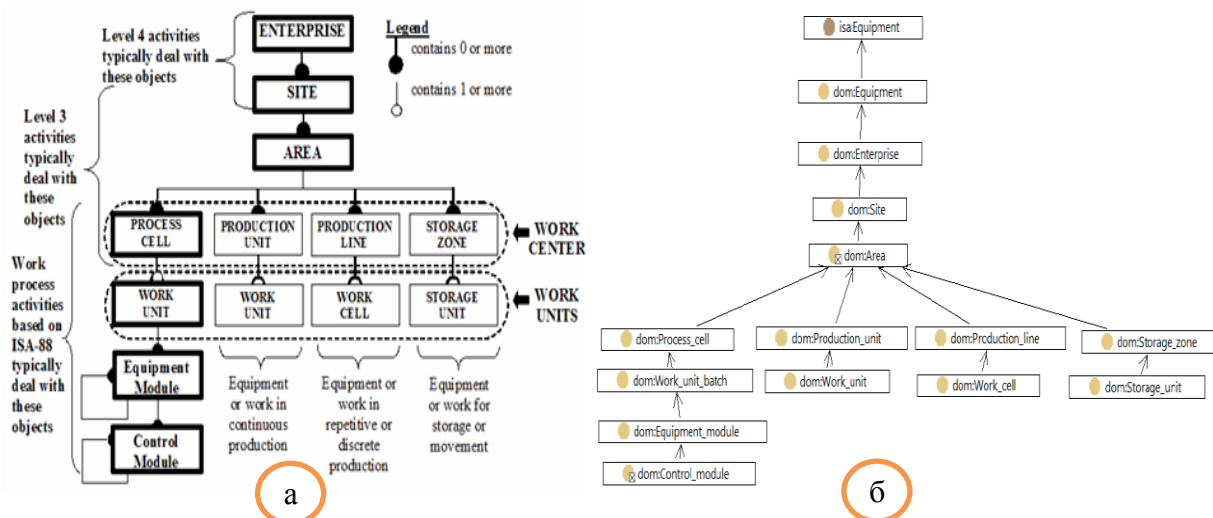
1. Предложен е вариант на отношения за съответствие между обектно-ориентирани модели и онтологии за целите на създаване на референтна мета онтология.
2. Създадена е референтна мета онтология чрез езика OWL-DL, базирана на стандарта за интегрирани системи за производство и управление ANSI/ISA-S95. Мета онтологията се състои от 105 класа, 300 обектни свойства, 397 свойства тип данни, 187 ограничения върху свойствата.
3. Референтната мета онтология има следните особености:
 - задава структура и еднозначно дефинира терминология;
 - независима е от конкретна индустрия или технология;
 - подпомага изграждането на домейн онтологии;
 - може да се използва за:
 - проектиране на нови системи за оперативно управление и системи за управление на бизнеса;
 - реинженеринг и интеграция на съществуващи технологии и системи за управление.

IV. Глава Четвърта. Методи за постигане на оперативната съвместимост на базата на семантични уеб технологии

4.1. Разработване на домейн онтологии

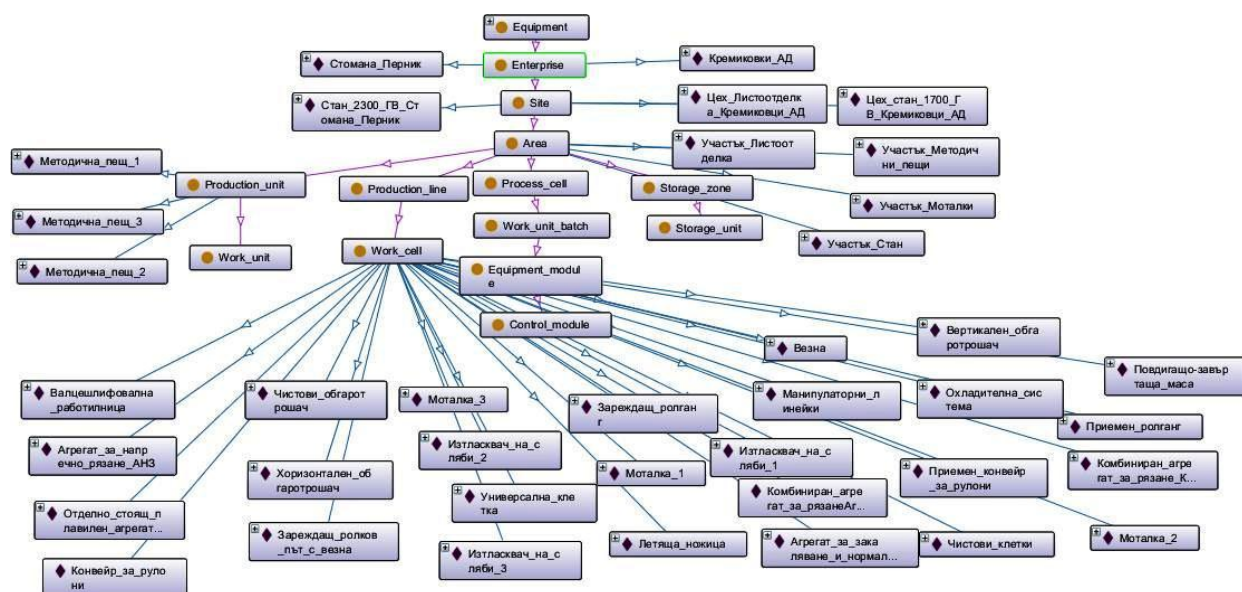
Предложеният обобщен подход за създаване на домейн онтологии включва следните етапи: анализ на производствената и организационната структура, представяне на приетата структура в рамките на модел от стандарта ANSI/ISA-S95, създаване на структурата на конкретното относително независимо производство или област във вид на домейн онтология, интегриране на домейн онтологията в референтната мета онтология, параметризация на интегрираните домейн онтологии и тестване на обобщения модел. Домейн класовете притежават собствена йерархия, атрибути и връзки между тях. Същевременно, интегрирани в общата структура на мета онтологията, те наследяват всички атрибути, релации и правила, създадени в мета онтологията.

Таксономичната структура на домейн онтологията на оборудването, валидна за всички металургични производства (фиг.4.1б), е изградена в съответствие с йерархичния модел на стандартите ANSI/ISA-S95 и специализирания за периодични производства стандарт ANSI/ISA-S88 (фиг.4.1а).



Фиг.4.1: Съответствие на таксономичната структура на домейн онтологията и йерархичния модел на стандартите ANSI/ISA-S95 и ANSI/ISA-S88

На фиг. 4.2 е показан фрагмент от модела на оборудването към производство „Горещо валцуване“-2, Кремиковци АД: цех „Стан 1700 ГВ“ и цех „Листоотделка“.



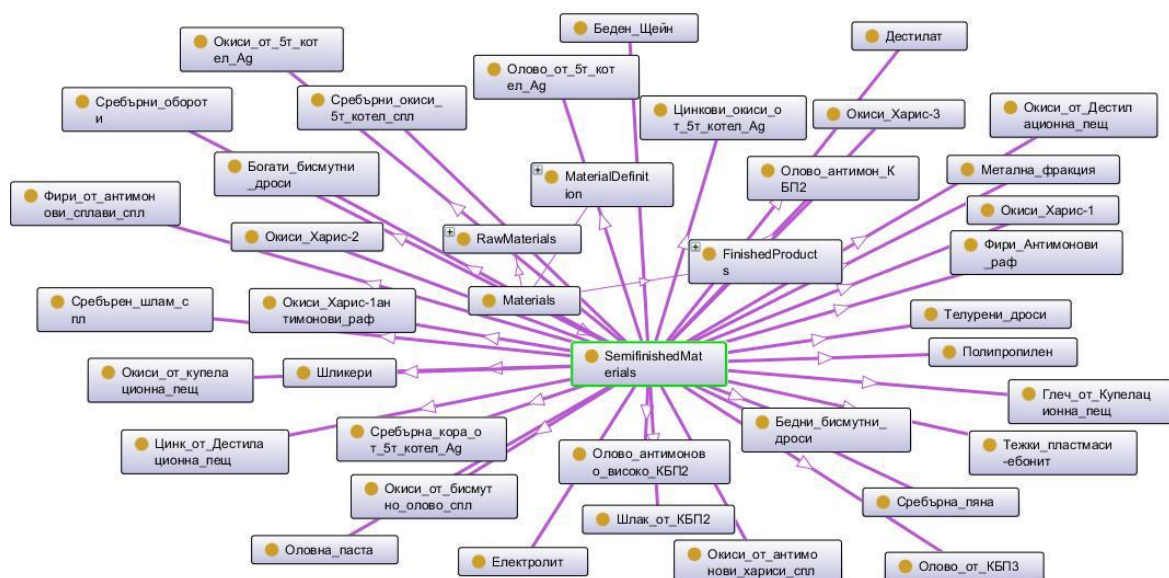
Фиг.4.2: Модел на оборудването на Производство „Горещо валцуване“-2 към Кремиковци АД в OntoGraph в Protégé 4.3

Интегрираните в референтната мета онтология домейн онтологии на оборудването и на процесните сегменти в производство горещо валцуване са представени на фиг.4.4. Моделът е параметризиран с данни за Листопрокатно производство, стан 2300, "Стомана Индъстри"- Перник.



Фиг.4.4: Класове „Процесни сегменти“ и „Оборудване“ в домейн онтологията на производство горещо валцуване, показани в Graph Panel в TopBraid Composer Maestro Edition

Чрез метода за създаване на домейн онтологии, съвместими със стандарта ANSI/ISA-S95, е създадена домейн онтология на материалите и оборудването на оловно производство в КЦМ Пловдив. За класовете и свойствата в домейн онтологията на производство на олово е зададен префикс “kcm”. Класът „Дефиниции на материали“ (kcm:MaterialDefinition) обхваща целия материален поток в цех „Рафинация и рециклинг“. Междинните продукти в производствения цикъл са групирани в отделни класове. Клас „Междинни продукти“ (kcm:SemifinishedMaterials), показан на фиг.4.6, се състои от 35 подкласа за различните продукти, получавани на различните етапи на рафиниране на оловото.



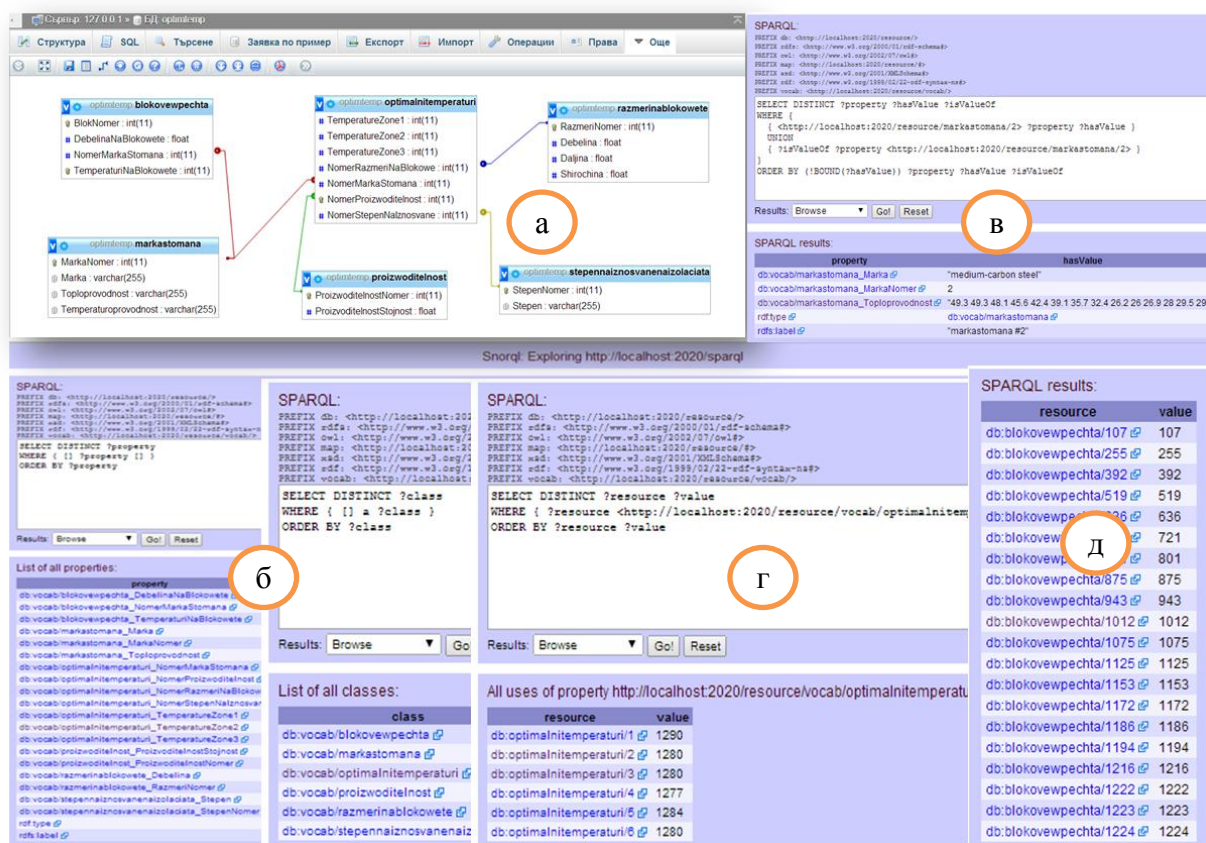
Фиг. 4.6: Клас „Междинни продукти“ в домейн онтологията на завода за получаване на чисто олово и оловни сплави в КЦМ Пловдив, OntoGraph в Protégé 4.3

4.2. Методи за реализиране на оперативна съвместимост чрез използване на семантични уеб технологии

Основната идея на методите за постигане на оперативна съвместимост чрез използване на технологии на семантичния уеб е представена в Глава Втора на дисертацията. В този раздел са дадени конкретни реализации на методите конвертиране (динамично

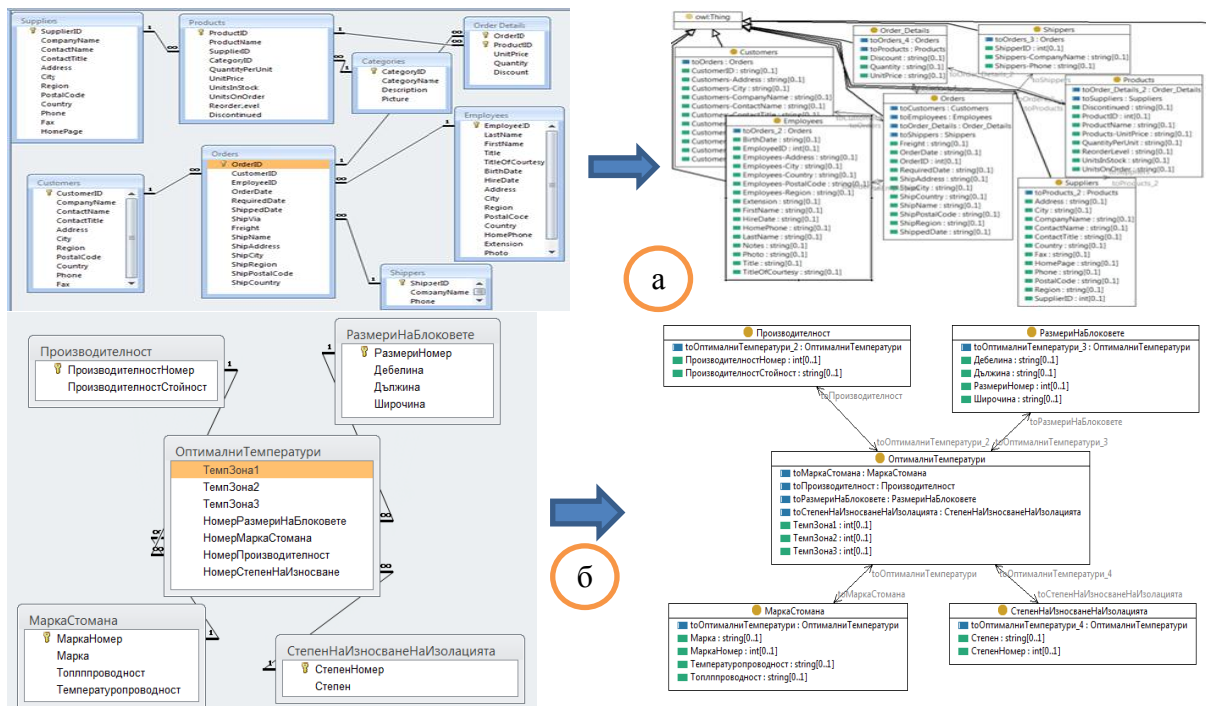
съответствие, трансформация на модели), създаване (интеграция, федерация), редактиране и обработка на обобщени модели, извличане на информация с цел подпомагане на вземането на решения (класификация, методи за създаване на хранилища и комбинирани методи).

Релационната база данни, показана на фиг.4.8а е създадена чрез математичен модел в средата на MATLAB (технологичното пространство на езиците за програмиране) и съдържа данни за температурни режими на методична пещ №2 към стан 2300 на Листопрокатно производство "Стомана Индъстри"- Перник. Таблиците, релациите и записите са създадени от работното пространство на MATLAB чрез функциите на DATABASE Toolbox и записани в MySQL (фиг.4.8а). Чрез метода „динамично съответствие“ чрез декларативен език от софтуерната платформа D2RQ, базата данни е съпоставена на OWL онтология. За онтологията е създаден е префикс “db”. На фиг.4.8.б) са показани онтологичните класове, съответни на таблиците и свойствата - съответни на атрибутите в базата данни. Чрез системата D2RQ са реализирани заявки за извличане на информация от базата данни: коефициенти на топлопроводност на нисковъглеродни стомани (фиг.4.8 в), стойности на температури на газовете (фиг.4.8 г) и средни температури на блоковете (фиг.4.8 д) при оптимален режим на нагряване. Заявките са създадени чрез SPARQL в HTML интерфейса на D2R сървър.



Фиг.4.8: Динамично съответствие с `optimtemp.sql` в HTML интерфейса на D2R сървър

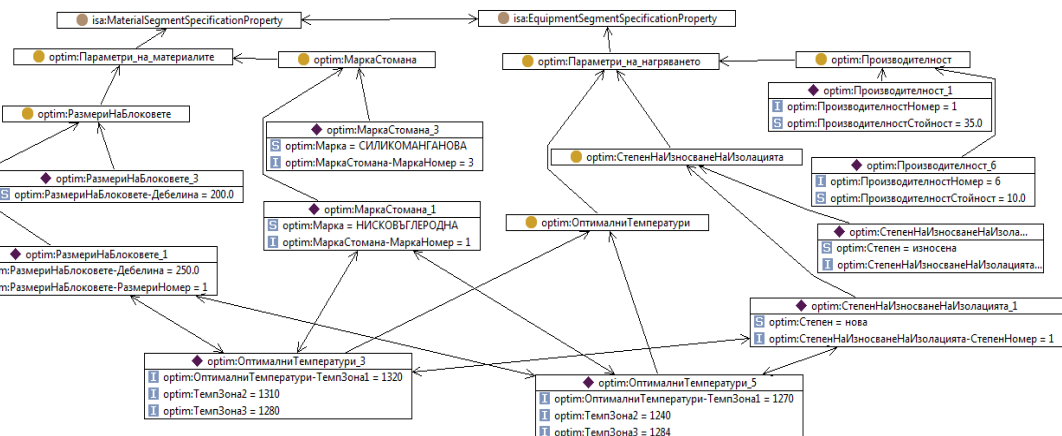
За реализиране на оперативна съвместимост чрез трансформация на релационни бази данни в онтологии с помощта на софтуерен продукт RDBToOnto, базите данни `optimtemp.mdb` (фиг.4.10б) и `northwind.mdb` (фиг.4.10а) са трансформирани в онтологии. На фиг. 4.10 са показани са релациите в MS Access и TopBraid Composer Maestro edition.



Фиг.4.10: Трансформиране на бази данни от MS Access в OWL онтологии

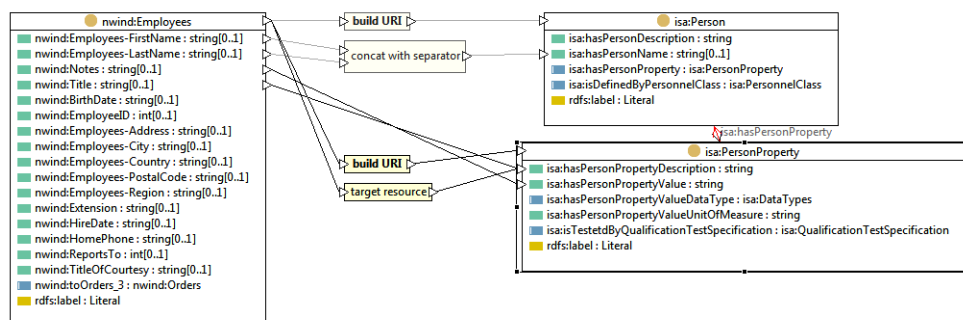
При трансформацията са запазени имената на таблиците, полетата са трансформирани в свойства тип данни, релациите - в обектни свойства, записите - в индивиди. Записите от базите данни са прехвърлени изцяло в онтологите. Двете онтологии са използвани за създаване и параметризация на обобщени модели.

Интегрирани са референтната мета онтология (префикс „isa“), домейн онтологията (префикс „dom“) и получената от релационната база данни онтология (префикс „optim“). В обобщения модел са създадени класове „Параметри на нагряването“ и „Параметри на материалите“, които са декларирани като подкласове на спецификациите за процесния сегмент „Нагряване“. Класовете „Оптимални Температури“, „Производителност“ и „Степен на износване на изолацията“ са интегрирани към характеристиките на оборудването (isa:EquipmentSegmentSpecificationProperty), а класовете „Размери на материалите“ и „Марка стомана“ - към свойствата на материалите (isa:MaterialSegmentSpecificationProperty). Всички релации от базата данни, мета онтологията и от домейн-онтологията са запазени в обобщения модел (фиг.4.11). Всички данни от базата данни са трансформирани в обобщения модел.



Фиг.4.11: Част от обобщения модел „Процесни сегменти“ в Graph Panel, TopBraid Composer Maestro Edition

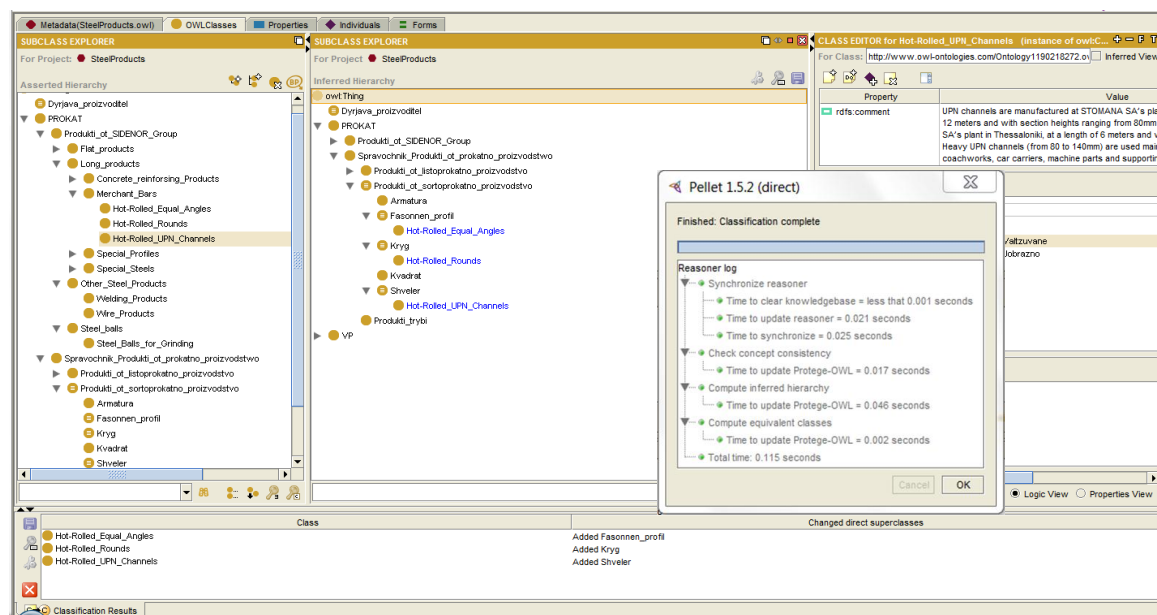
На фиг.4.14 е представена онтологична обработка чрез технологията SPINMap в продукта TobBraid Composer. В онтологичния модел са използвани част от данните от релационната база данни, някои атрибути са обединени (FirstName и LastName), други са модифицирани. Данните от клас `nwind:Employees` са трансформирани в два класа от мета онтологията: клас „Персонал“ (`isa:Person`) и клас „Характеристики на Персонала“ (`isa:PersonProperty`). Свойствата от клас `nwind:Employees` са съпоставени на свойства, дефинирани в `isa:Person` и `isa:PersonProperty`. Част от свойствата на клас `nwind:Employees` стават свойства на клас `isa:Person`, а други – на клас `isa:PersonProperty`.



Фиг.4.14: Онтологична обработка на част от обобщения модел чрез технологията SPINMap

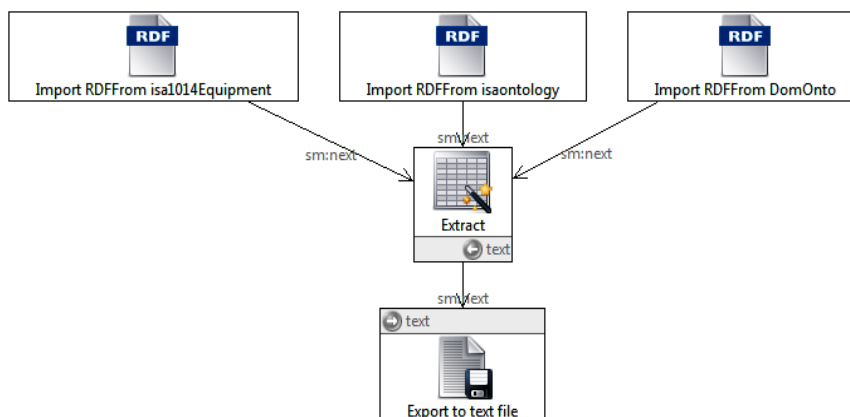
4.3. Методи, подпомагащи вземането на решения

С цел постигане на оперативна съвместимост на разнообразните системи за управление на данни, е създаден онтологичен модел на продукти от прокатни производства и метод за класификация. За представяне на данните за продукти, моделът е реализиран чрез езика OWL DL с цел използване на възможностите на езика за описание на разнообразни данни и формализма на дескриптивните логики за създаване и проверка на изпълнението на правила и техники за логически анализ и извод (reasoning). На фиг.4.15 са представени резултатите от класификация на продукти от сортопрокатно производство на Завод Стомана Индъстри, Перник, България и завод SIDENOR SA, Солун, Гърция чрез използване на DL reasoner Pellet 1.5.2.



Фиг.4.15: Автоматична класификация на продукти от сортопрокатно производство, показана чрез DL reasoner Pellet 1.5.2 в Protégé 3.5

Чрез технология за автоматизиране и изпълнение на последователности от процеси за онтологично базирана интеграция, обработка и извличане на данни SPARQLMotion, е създаден скриптов файл за многократна употреба (фиг.4.16). Чрез използване на типови модули от стандартни библиотеки (ImportModules, ProcessingModules, ExportModules), се осъществява обединяване на три онтологии, извлича се информация чрез SPARQL заявка и резултатите се преобразуват и записват в текстов файл.



Фиг.4.16: SPARQLMotion script за автоматизиране на онтологично базирана интеграция на данни в среда на TopBraid Composer Maestro Edition

На фиг.4.20 са показани тестови заявки за извличане на информация от обобщени модели. Търси се информация за дата и час за започване на производствена заявка (ProductionRequest) със зададен приоритет ("HIGH") (фиг.4.20а). Чрез втората заявка (фиг.4.20б) се получава информация за часа на започване и приоритета на планираните производствени заявки. На фиг.4.20в са показани температурите на втора зона на Методична пещ №2 за конкретна спецификация за нагряване. Заявката извлича данни, получени от три онтологии. В четвъртата заявка (фиг.4.20г) се извежда информация за температурите на трите зони на методична пещ № 2 към стан 2300 на Листопрокатно производство в "Стомана Индъстри"- Перник за нагряване на блокове от нисковъглеродна стомана при производителност на пещта 25 t/h.

а

```

SELECT ?ProductionRequest ?Time
WHERE {
  ?ProductionRequest isa:hasProductionRequestPriority "HIGH".
  ?ProductionRequest isa:hasProductionRequestStartTime ?Time.
}

```

[ProductionRequest]	Time
ProductionRequest_11.10.2014_1	16.00

б

```

SELECT ?ProductionRequest ?StartTime ?Priority
WHERE {
  ?ProductionRequest isa:hasProductionRequestStartTime ?StartTime.
  ?ProductionRequest isa:hasProductionRequestPriority ?Priority.
}

```

[ProductionRequest]	StartTime	Priority
ProductionRequest_11.10.2014_1	16.00	HIGH
ProductionRequest_11.10.2014_2	14.00	Low_123

в

```

SELECT *
WHERE {
  ?Equipment isa:hasEquipmentLocation "Методична пещ №2".
  ?EquipmentSegment isa:hasEquipmentSegmentSpecificationEquipment ?Equipment.
  ?ОптималниТемператури optim:ТемпЗона2 ?Втора_зона.
}

```

[Equipment]	EquipmentSegment	ОптималниТемператури	Втора_зона
dom:Методична_пещ_2	Спецификация_за_нагряване_1	optim:ОптималниТемператури_5	1240
dom:Методична_пещ_2	Спецификация_за_нагряване_1	optim:ОптималниТемператури_4	1430
dom:Методична_пещ_2	Спецификация_за_нагряване_1	optim:ОптималниТемператури_1	1270
dom:Методична_пещ_2	Спецификация_за_нагряване_1	optim:ОптималниТемператури_2	1360
dom:Методична_пещ_2	Спецификация_за_нагряване_1	optim:ОптималниТемператури_3	1310

г

```

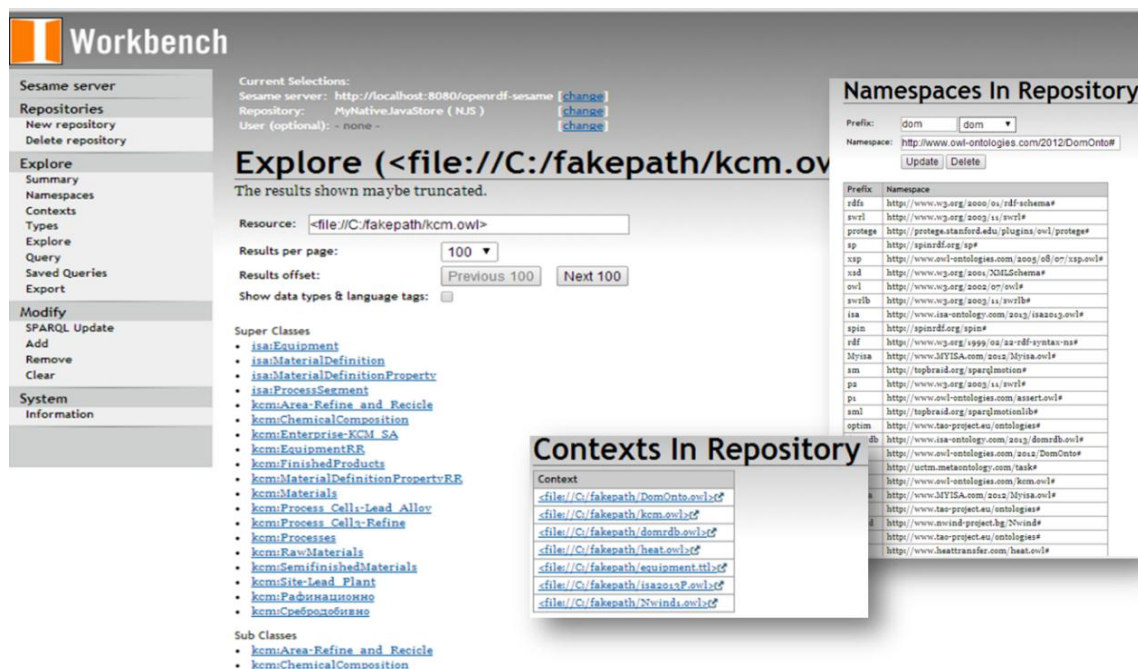
SELECT ?зона1 ?зона2 ?зона3
WHERE {
  ?оптималнитетемператури :toРазмериНаБлоковете ?размернаблоковете .
  ?оптималнитетемператури :toМаркаСтомана ?маркастомана .
  ?оптималнитетемператури :toПроизводителност ?производителност .
  ?оптималнитетемператури :toСтепенНаИзносванеНаИзолацията ?степеннаизносваненаизолацията .
  ?размернаблоковете :toОптималниТемператури_3 ?оптималнитетемператури .
  ?степеннаизносваненаизолацията :Степен "нова" .
  ?производителност :ПроизводителностСтойност "25.0" .
  ?оптималнитетемператури :ТемпЗона1 ?зона1 .
  ?оптималнитетемператури :ТемпЗона2 ?зона2 .
  ?оптималнитетемператури :ТемпЗона3 ?зона3 .
  ?размернаблоковете :Дебелина "250.0" .
  ?маркастомана :Марка "НИСКОВЪГЛЕРОДНА" .
}

```

[зона1]	зона2	зона3
1320	1310	1280

Фиг.4.20: Изпълнение на заявки за търсене към онтологични модели в средата на TopBraid Composer Maestro Edition

С помощта на OpenRDF Workbench в системата Sesame 2.7 през web интерфейс е създадено семантично хранилище върху Sesame Server, показани са заявки към онтологиите и данните (фиг.4.23). Sesame Server и OpenRDF Workbench се разполагат в Java Servlet Container в Apache Tomcat сървър.



Фиг.4.23: Достъп до ресурсите в Native Java Store хранилище в системата SESAME чрез OpenRDF Workbench

4.4. Изводи и заключения към четвърта глава

1. Предложен е метод за създаване на домейн онтологии в областта на металургията на базата на използване на референтна мета онтология.
2. Създадени са следните домейн онтологии:
 - Домейн онтология на завод за производство „Горещо валцуване“-2 към Креиковци АД;
 - Домейн онтология на производство на олово в цех „Рафинация и рециклинг“ на КЦМ Пловдив.
3. Реализирани са методи за оперативна съвместимост на базата на свързани елементи от дефинираните четири технологични пространства:
 - Технологично пространство на мета моделите;
 - Технологично пространство на системите бази данни;
 - Технологично пространство на езиките за програмиране;
 - Технологично пространство на онтологичното инженерство.
4. Използвани са следните процедури:
 - Трансформация на модели и данни от MATLAB в СУБД MS Access и СУБД MySQL;
 - Динамично съответствие на модели и данни от СУБД MS Access и СУБД MySQL и OWL онтологии;
 - Интеграция, обработка и извличане на информация за взимане на решения за оперативното управление.
5. Онтологичните модели са тествани чрез заявки за извличане на информация от различни SPARQL точки за достъп в семантичните хранилища Jena, Sesame 2.7 и платформата TopBraidLive.

V. Глава Пета. Модели на топлинни процеси и агрегати

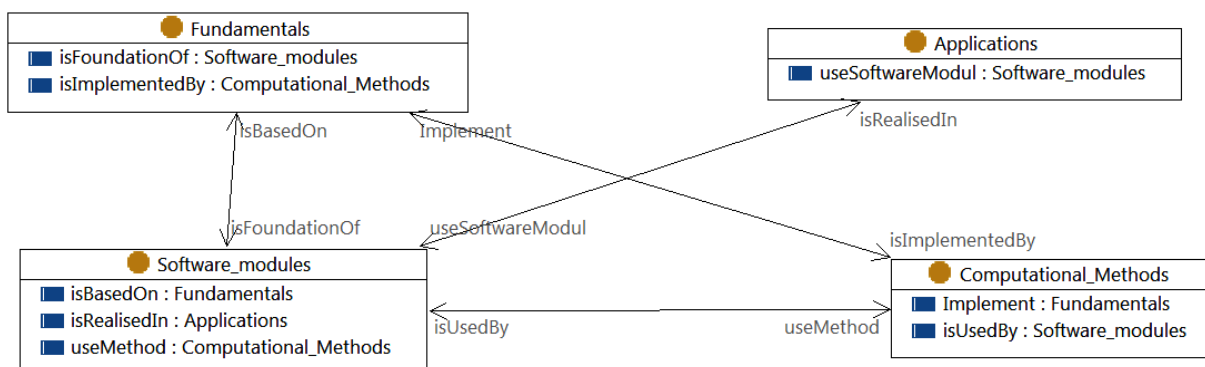
5.1. Информационна система за моделиране на топлинни процеси и агрегати

На фиг.5.1 е представена структурата на пълния математичен модел на топлинни процеси в металургични нагревателни пещи, където се разграничат основните структурни компоненти на модела: вътрешна задача (1), околна среда (2), (3) и ограничения (4).



Фиг.5.1: Структура на модел на топлинните процеси в металургични нагревателни агрегати

За изчисляване на топлинните процеси в нагревателните агрегати в металургията съществува голямо разнообразие на модели, методи и софтуерни средства. С помощта на езиците и технологиите за семантичния уеб е създадена информационна система за моделиране на топлинни процеси и агрегати. Чрез онтологичен модел са описани и структурирани модели на топлообмен за металургични нагревателни агрегати, методи за изчисляване и анализ на топлинните процеси, основни софтуерни продукти, както и алгоритми за решаване на различни задачи за конкретни топлинни агрегати.

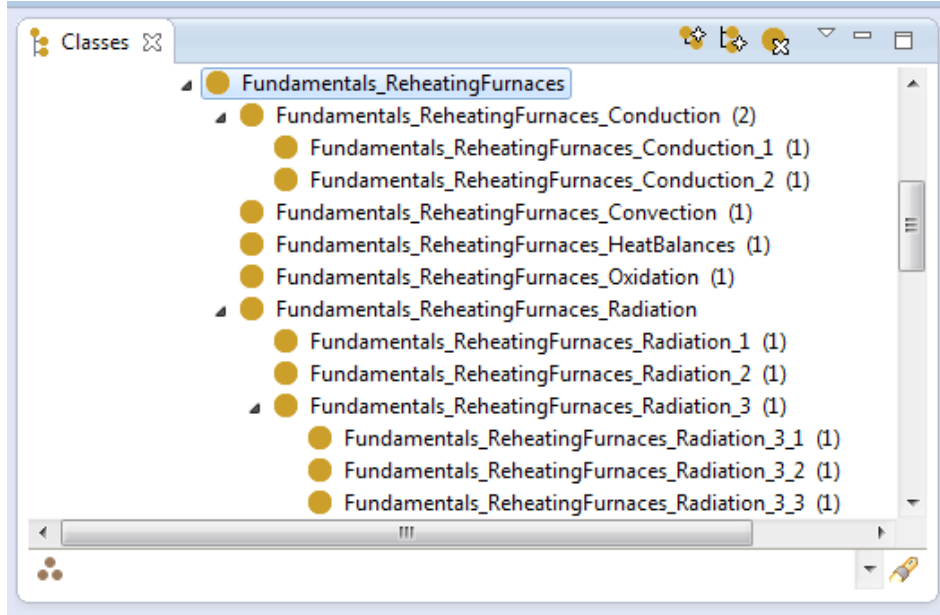


Фиг.5.3: Обща структура на онтологията за моделиране на топлинни процеси и агрегати

Основните модели на процесите (фиг.5.3) са представени като подкласове на клас Fundamentals, методите, които се използват при топлинните изчисления са подкласове на ComputationalMethods, софтуерните модули, са систематизирани в клас SoftwareModuls, а моделите на конкретните топлинни агрегати – в клас Applications.

5.2. Модели на топлинни процеси

На фиг.5.4. е представена библиотеката от разработените модели на топлинни процеси в металургични нагревателни агрегати.



Фиг.5.4: Библиотека на разработените в дисертацията модели

5.2.1. Радиационен топлообмен

Моделът на радиационния топлообмен, представен на фиг.5.4 като клас Fundamentals_ReheatingFurnaces_Radiation, се базира на метод, представен от Siegel и Howell за изчисляване на радиация в затворена система от N изотермични повърхности, запълнена с излъчващ и поглъщащ газ. Моделът е изведен във вид на система от N уравнения, свързващи $2N$ величини: N на брой плътности на монохроматичното излъчване на абсолютно черно тяло с температура, равна на температурите на повърхностите $e_{\lambda b,j}(T_j)$ и N на брой плътности на монохроматичните резултантни топлинни потоци към повърхностите $dq_{\lambda,j}$:

$$\sum_{j=1}^N \left(\frac{\delta_{kj}}{\epsilon_{\lambda,j}} - F_{k-j} \frac{1-\epsilon_{\lambda,j}}{\epsilon_{\lambda,j}} \bar{\tau}_{\lambda,k-j} \right) dq_{\lambda,j} = \sum_{j=1}^N [(\delta_{kj} - F_{k-j} \bar{\tau}_{\lambda,k-j}) e_{\lambda b,j} d\lambda + F_{k-j} \bar{\alpha}_{\lambda,k-j} e_{\lambda b,g} d\lambda] \quad (1)$$

Геометричните коефициенти на поглъщане / пропускане се представят с уравненията:

$$F_{j-k} \bar{\tau}_{\lambda,j-k} = \frac{1}{A_j} \int_{A_k} \int_{A_j} \frac{\tau_{\lambda}(S) \cos(\theta_k) \cos(\theta_j)}{\pi S^2} dA_k dA_j \quad (2)$$

$$F_{j-k} \bar{\alpha}_{\lambda,j-k} = \frac{1}{A_j} \int_{A_k} \int_{A_j} \frac{\alpha_{\lambda}(S) \cos(\theta_k) \cos(\theta_j)}{\pi S^2} dA_k dA_j \quad (3)$$

$$\bar{\alpha}_{\lambda,j-k} = 1 - \bar{\tau}_{\lambda,j-k} \quad (4)$$

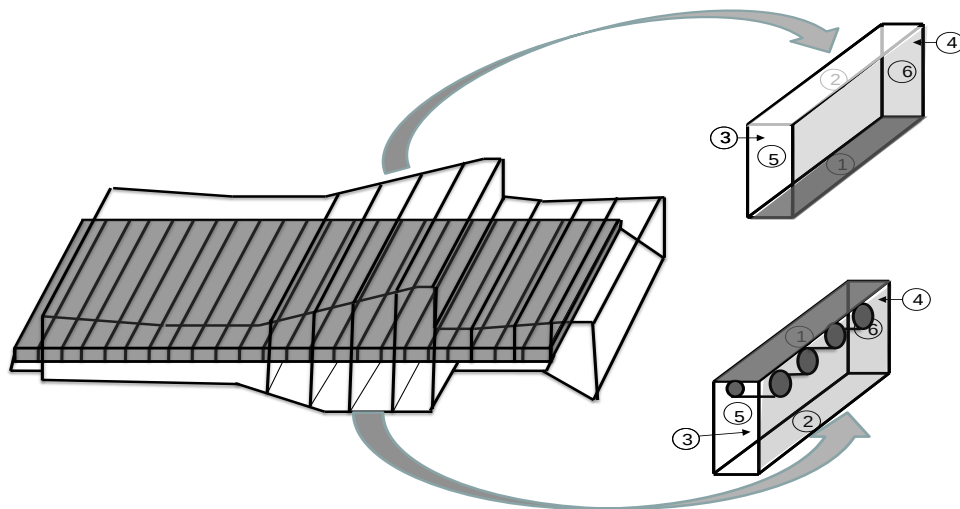
- Допускането, че поглъщателна способност $\alpha_l(S)$ е линейна функция на пътя на лъча и дефинирането на понятието геометрично средна дължина на лъча между всеки две повърхности $\bar{S}_{k-j}$, позволява разделното изчисляване на геометричните характеристики F_{k-j} и $\bar{S}_{k-j}$ и радиационните характеристики $\bar{\tau}_{k-j}(\bar{S}_{k-j})$ и $\bar{\alpha}_{k-j}(\bar{S}_{k-j})$ (чрез уравнения,

представени в дисертацията) за всеки две от повърхностите, участващи в топлообмена. Моделът е записан в библиотеката на фиг.5.4 като клас `Fundamentals_ReheatingFurnaces_Radiation_1`.

- Дефинирането на понятието ефективна дължина на лъча за газовия обем L_e позволява изчисляване на средна пропускателна $\bar{\tau}(L_e)$ и средна поглъщателна способност $\bar{\alpha}(L_e)$ на газа за целия затворен обем, независимо от взаимното разположение на повърхностите. Моделът е представен в библиотеката като клас `Fundamentals_ReheatingFurnaces_Radiation_2`.

- Преобразуването на модела (1) при дефиниране на ефективна дължина на лъча за две повърхности: топлоприемаща повърхност (нагриван метал) и адиабатна повърхност (стени и свод), при наличие на поглъщащ и излъчващ газ при зададени $e_{b,1} = \sigma T_1^4$, $e_{b,g} = \sigma T_g^4$, води до приведено уравнение, изразяващо резултантния топлинен поток към топлоприемащата повърхност. Моделите, на базата на приведени уравнения са показани чрез уравнения, представени в дисертацията и са записани като подкласове на клас `Fundamentals_ReheatingFurnaces_Radiation_3`.

Реализацията на модела на радиационния топлообмен изисква разделяне на работното пространство на нагревателната пещ на голям брой сегменти, където се приема, че температурите на газа и шестте, затварящи газовия обем, повърхности са постоянни (фиг.5.7).



Фиг.5.7: Схема за реализация на `Software_modules_Radiation_1`

5.2.2. Конвективен топлообмен

Моделът за изчисляване на конвективния топлообмен е представен в библиотеката от модели на фиг.5.4 като клас `Fundamentals_ReheatingFurnaces_Convection`. Конвективният топлинен поток се изчислява с помощта на уравнение:

$$q_c = \bar{h}A(\theta_\infty - \theta_0) \quad (21)$$

В уравнение (21) с θ_∞ е означена температурата на околната среда, а с $\bar{h}$ - коефициентът на конвективно топлоотдаване от средата към твърдото тяло, A е площта на награвната повърхност.

5.2.3. Теплопроводност

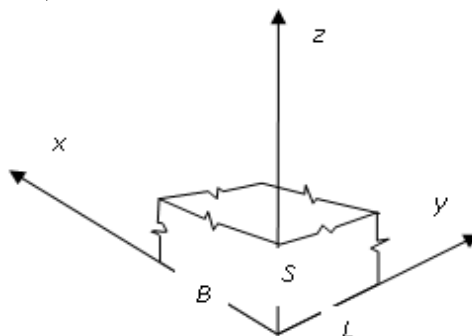
Моделирането на топлинните процеси в нагревателните агрегати включва решаването на частното диференциално уравнение на нестационарната теплопроводност при зададени начални и гранични условия. За изчисляването награването на металните блокове се използва моделът (17) при начални условия (18) и гранични условия (19).

$$\rho(\theta)C(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}\right) \quad (17)$$

$$\theta(x, y, z)|_{t=0} = \theta_0(x, y, z) \quad (18)$$

$$\begin{aligned} -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\bigg|_{x=0} &= q_x^0 & -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}\bigg|_{z=0} &= q_z^0 \\ -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial x}\bigg|_{x=S} &= q_x^S & -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial y}\bigg|_{y=B} &= q_y^B \\ -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial y}\bigg|_{y=0} &= q_y^0 & -\lambda(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}\bigg|_{z=L} &= q_z^S \end{aligned} \quad (19)$$

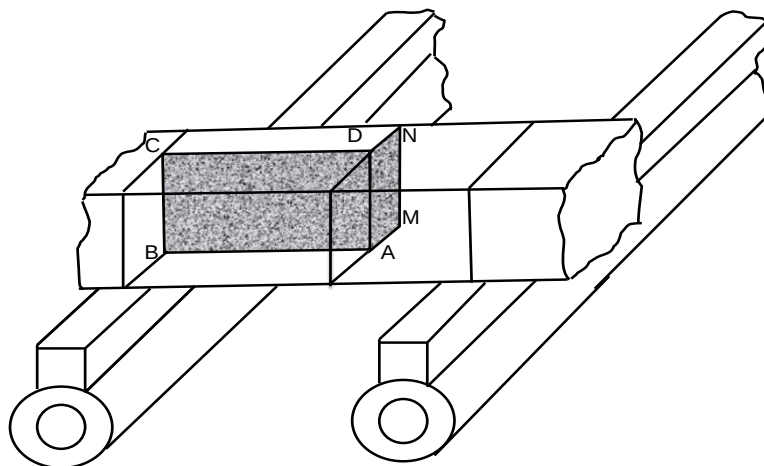
Със символите S , L и B са означени размерите на тялото по координатните оси z , y и x (фиг.5.5). Топлинните потоци към граничните повърхности (19) на нагривания блок се изчисляват от моделите радиационен топлообмен и конвективен топлообмен.



Фиг. 5.5: Пространствено разположение на метален блок

За изчисляване на стойностите на коефициентите $\lambda(\theta)$, $\rho(\theta)$ и $C(\theta)$ в зависимост от температура се използват сплайн апроксимации на таблични стойности, включени в база данни за различни марки стомани. Реализацията на модела за изчисляване на нагриването на металните блокове е в следните варианти:

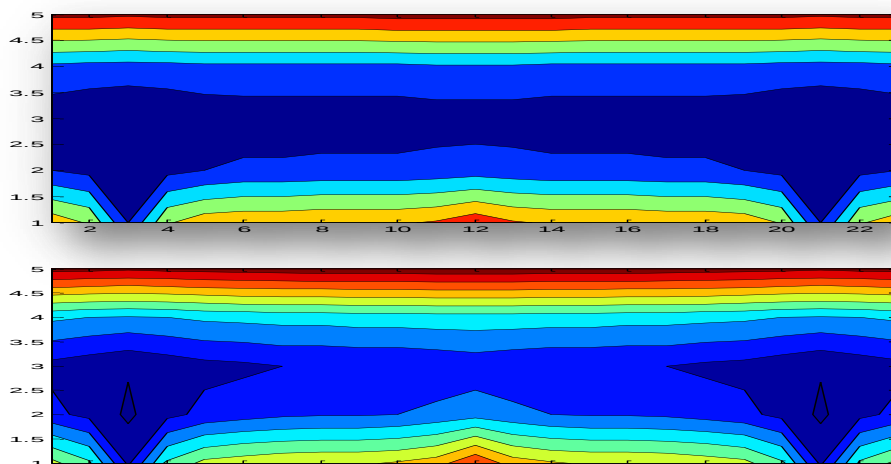
- За изчисляване на нестационарна топлопроводност едномерен случай за нагревателни пещи от тласкателен тип, където блоковете са плътно допрени един до друг се решава едномерна задача за линията AD, по средата между носещите тръби (фиг.5.11).



Фиг.5.11: Разположение на метален блок при двустранно нагриване

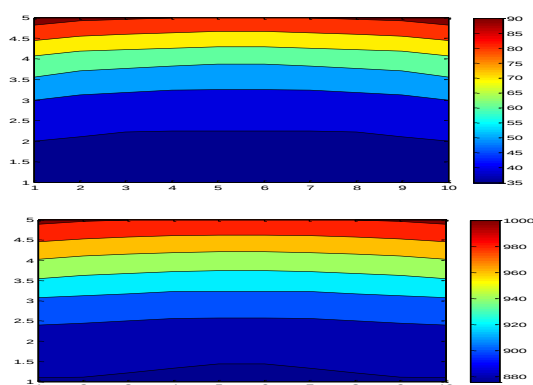
- За отчитане на екранирането на подовите тръби се решава двумерната задача за изчисляване нагриването на сечение ABCD. Екранирането на подовите тръби в долното нагриване се отчита чрез коефициенти на засенчване в зависимост от размерите на

тръбите и степента на износване на изолацията. Резултати от изчисляването на нагряването на заготовки в тласкателна пещ в два последователни момента от времето са представени на фиг.5.12.



Фиг.5.12: Двумерна топлопроводност, влияние на опорните тръби (сечение ABCD)

- За нагревателни пещи с крачеши греди, когато блоковете не са плътно допрени един до друг, се решава двумерната задача за сечението AMND (фиг.5.11). В модела се отчита взаимното засенчване на металните блокове в зависимост от разстоянието между тях. Резултати от изчисляването на нагряването на заготовки в пещ с крачещ под в два последователни момента от времето, получени чрез модела, са представени на фиг.5.13.



Фиг.5.13: Двумерна топлопроводност, влияние съседните блокове

5.2.4. Окисляване

Моделът е представен в библиотеката от разработени модели на фиг.5.4 като клас `Fundamentals_ReheatingFurnaces_Oxidation`. Процесът на окисляване на нагряната повърхност на металните блокове се описва с уравнението.

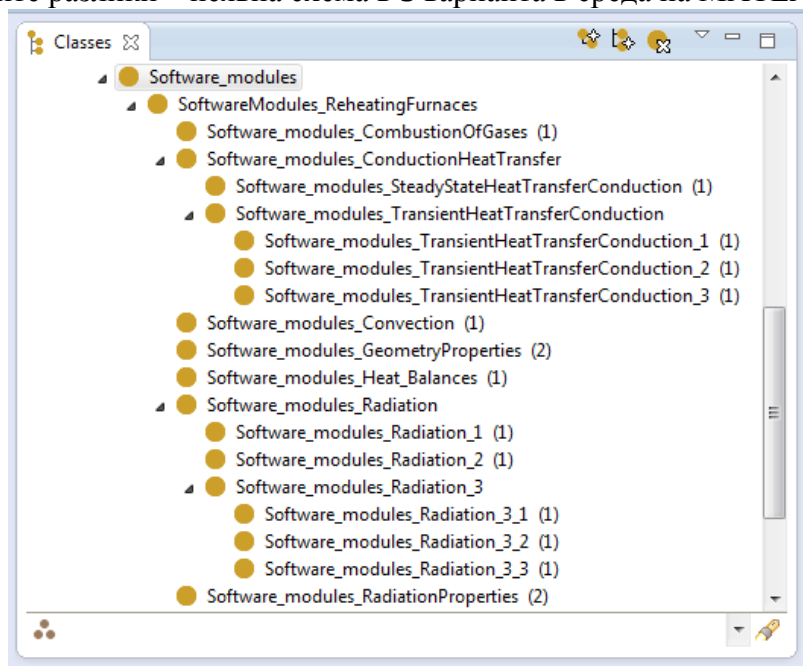
$$\frac{dw}{dt} = \frac{a_1}{w\theta_s(t)} \exp\left(-\frac{a_2}{\theta_s(t)}\right) \quad (23)$$

където: w е дебелината на окисления слой; θ_s е температурата на повърхността на метала; a_1 и a_2 са кинетични константи.

5.3. Софтуерни реализации на моделите на топлинните процеси

Разработените в дисертацията изграждащи блокове за изчисляване на топлинни процеси са представени като подкласове на клас `SoftwareModules_ReheatingFurnaces` на

фиг.5.6. За изчисляване на радиация в нагревателните пещи софтуерният модул Software_modules_Radiation е реализиран в 5 варианта в среда на MATLAB. Модулът (Software_modules_TransientHeatTransferConduction) е реализиран чрез числен метод на крайните разлики – неявна схема в 3 варианта в среда на MATLAB.

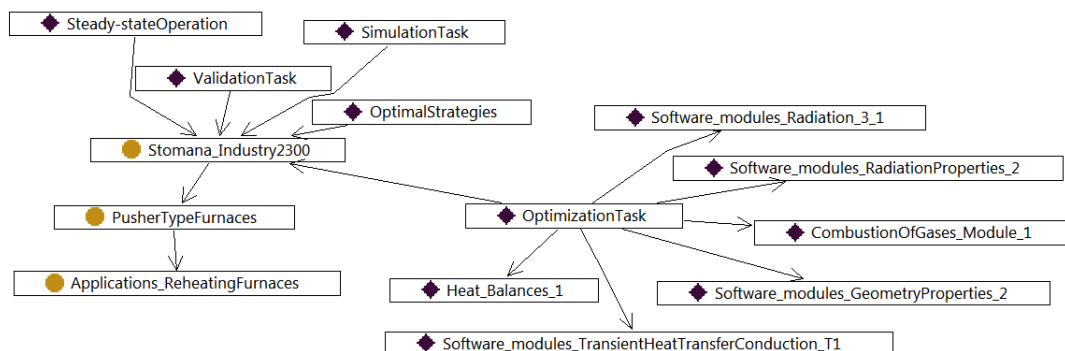


Фиг.5.6: Структура на разработените софтуерни модули

Софтуерните модули са използвани при създаването на модели на следните методични пещи:

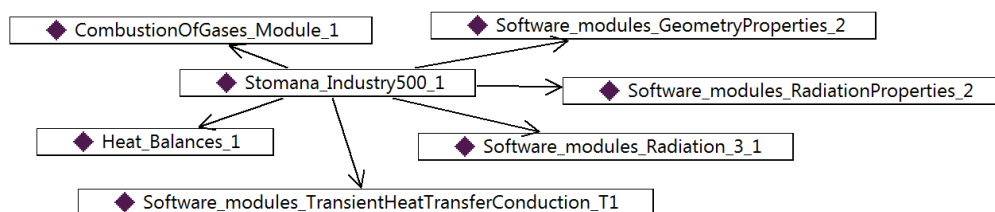
- Методична пещ № 2 към стан 2300 Листопрокатно производство „Стомана“ Перник;
- Методична пещ № 1 към стан 500 Сортопрокатно производство към стан 500 „Стомана“-Перник;
- Методични пещи към стан „Горещо валцуване“-2 към Кремиковци АД;
- Пещ с крачещ под в MEFOS, Metal Working Research Plant.

В моделите са включени различни комбинации от изграждащи блокове. Реализираните модели на индустриалните пещи са използвани за решаване на различни задачи. За методична пещ №2 към стан 2300 са разработени модели, които решават задачите: ValidationTask, Steady-StateOperation, OptimizationTask, OptimizationStrategies, SimulationTask. На Фиг.5.27 са показани основните софтуерни модули, които се използват за решаване на една от задачите - OptimizationTask.



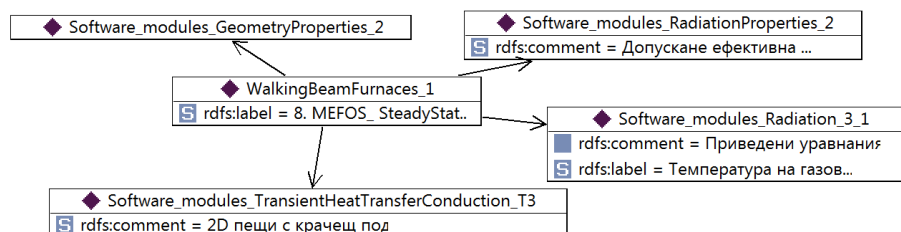
Фиг.5.27: Разработени модели за методична пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри"-Перник

На фиг.5.29 са показани основните изграждащи блокове, чрез които се изчисляват стационарни температурни разпределения в методична пещ № 1 към стан 500 Сортопрокатно производство към "Стомана Индъстри" – Перник.



Фиг.5.29: Реализирани софтуерни модули в модела на методична пещ № 1 към стан 500 Сортопрокатно производство към "Стомана Индъстри" – Перник

Основните изграждащи блокове, които са използвани при изчисляване на едностранно нагряване на блокове в пещ с крачещ под, са представени на фиг.5.30.



Фиг.5.30: Реализирани софтуерни модули в модела на пещ с крачещ под

5.4. Математични модели на индустриални агрегати

За валидация на математичния модел на многозонна тласкателна методична пещ са проведени експерименти на методична пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри"-Перник. Данните са регистрирани при стационарни условия: производителност, температури, топлинни натоварвания по зони. На базата на измерените температури, разходи на гориво и загуби с охлаждащата вода е извършена настройка на коефициентите на модела. За валидация на математичния модел са използвани данните от третия експеримент (Табл.5.2 и Табл.5.3).

Табл.5.2: Експериментални данни за методична пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри"-Перник

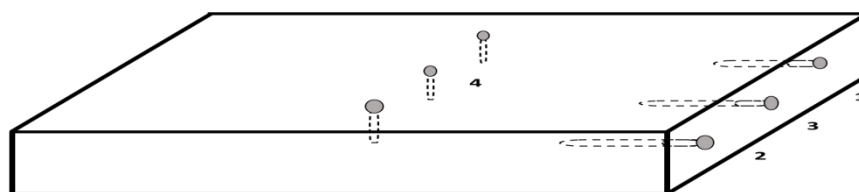
№		Първи експеримент: неизолирани подови тръби	Втори експеримент: неизолирани подови тръби	Трети експеримент: частично изолирани подови тръби
1.	Производителност на пещта, t/h	25,7	25,5	23,3
2.	Разход на газ общо, m^3/h	1601	1823	1557
	Горна високотемпературна зона	409	440	445
	Долна високотемпературна зона	761	923	684
	Изравнителна зона	431	460	428
3.	Топлинно натоварване mW	15,6	17,76	15,2
4.	Специфичен разход на топлина kJ/kg	2185	2510	2348
5.	Температура на въздуха $^{\circ}C$	160	160	200
6.	Загуби с охлаждащата вода mW	2,73	2,48	2,01
	Загуби с охлаждащата вода %	17,5	14,0	13,22

Табл. 5.3: Измерени и изчислени с модела топлинни загуби

Режимни параметри на пещта		Измерени стойности	Изчислени стойности
Загуби с подовите тръби	Методична зона	1370 kW	1338,167 kW
	Високотемпературна зона	698 kW	694,788 kW

Топлинните загуби с охлаждащата вода, изчислени с модела, не се различават с повече от 5% от измерените стойности по време на експеримента.

За валидация на модела са проведени измервания на температурите във вътрешността на метален блок по време на нагряването в пещта (странично през прозорците за наблюдение на пещта) и след изваждането му върху приемния ролганг с контактна термодвойка. За целта е използвана сляба с предварително пробити в нея отвори, както е показано на фиг.5.17. През трите странични отвора са измерени температурите в центъра (точка 3) и близо до горната (точка 1) и долната (точка 2) нагревни повърхности през прозорците на пещта по време на нагряването. За едно сечение между надлъжните тръби (точка 4) са измерени температурите след изваждането на слябата от пещта.



Фиг.5.17: Разположение на специално пробити отвори за измерване на температурите в експериментална сляба

С помощта на математичния модел и експериментално измерените стойности: време за нагряване, топлинни натоварвания по зони, вид и размери на блоковете, е изчислено нагряването на експерименталната сляба. В Табл.5.4 са показани изчислените с модела и измерените по време на експеримента температури на слябата след изтичането на 234 минути от началото на нагряването (странично през прозорците за наблюдение на пещта) и след изваждането на слябата от пещта върху приемния ролганг. Измерените температури по дебелина на слябата се различават с не повече от 5% от изчислените от модела.

Табл.5.4: Измерени и изчислени с модела температури във вътрешността на експериментално нагряван блок

		Изчислени температури (°C)	Измерени температури (°C)
Температури на слябата в средата на пещта (VII прозорец) след 234 min от началото на нагряването	Температура на горната повърхност на слябата	1178	1170
	Температура на долната повърхност на слябата	1261	1267
	Температура в центъра на слябата	1171	1178
Температури в центъра на слябата след изваждането ѝ от пещта	Температура на метала между подовите тръби	1237	1230

Високите специфични разходи на топлина, установени при промишлените измервания и числените експерименти чрез математичния модел, налагат специално изследване на топлообмена в долните зони на пещта. Загубите на топлина с водоохлаждаемите подови тръби за пещите към стан 2300 на "Стомана Индъстри" - Перник достигат до 20% от общата топлинна мощност. Износването на изолацията променя геометричните и радиационните характеристики на участващите в топлообмена повърхности и до голяма степен влияе върху ефективната работа на агрегатите. За точно изчисляване на загубите с охлаждащата вода е необходимо да се познава степента на износване на изолацията на

водоохлаждаемите тръби. В общия случай при частично износена изолация, топлинните загуби се представят като сума от загубите с неизолирани подови тръби и загубите с изолирани тръби:

$$Q = Q_r + Q_t = k_r \left(\frac{T_f}{100} \right)^n KF + k_t (t_f - t_w)(1 - K)F \quad (36)$$

За да се отчете степента на износване се въвежда емпиричен коефициент, който отчита степента на износване на изолацията K :

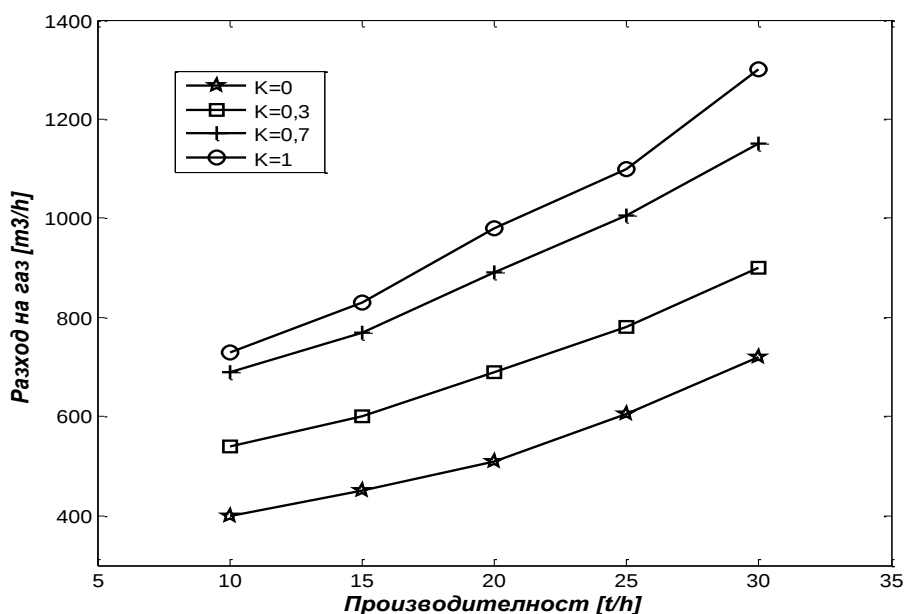
$$Q = k'_r (t_f - t_w)KF + k_t (t_f - t_w)(1 - K)F \quad (37)$$

където:

$$k'_r = \frac{k_r \left(\frac{T_f}{100} \right)^n}{t_f - t_w} \quad (38)$$

Оценка на степента на износване на изолацията се получава чрез експериментално измерени загуби на топлина през водоохлаждаемите тръби. Геометричните характеристики на зоните се изчисляват чрез диаметъра на тръбите, еквивалентни по повърхност на тръбите с частично износена изолация. Изчисляването на загубите с математичния модел при частично разрушена изолация изисква оценяване на коефициента K в уравнение (37), който отчита степента на износване на изолацията.

Влиянието на степента на износване на изолацията върху разходите на газ в долното нагриване на методична пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри", Перник при различни производителности на пещта е показано на фиг.5.18. Стойностите на $K = 0$ и $K = 1$ съответстват на нова и напълно износена изолация.



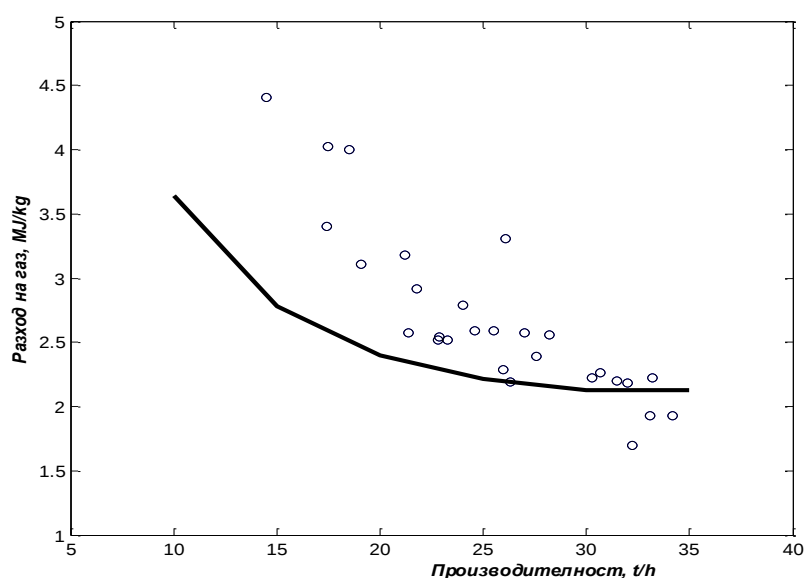
Фиг. 5.18: Зависимост на разхода на газ от производителността на пещ No 2 и топлинните загуби с подовите тръби при различни степени на износване на изолацията

Моделът на методична пещ № 2 към стан 2300 на Листопрокатно производство "Стомана Индъстри"- Перник е използван в алгоритми за изчисляване на оптимално нагриване при частични критерии: минимален разход на гориво, максимална производителност на пещта и минимални загуби от окисляване. Оптимизационните алгоритми са реализирани чрез метод на наказателната функция за отчитане на технологичните ограничения; използван е метод на Нелдер и Мид на деформируемия симплекс.

Чрез минимизация на сумарния разход на газ за пещ No2 към Листопрокатен цех на "Стомана Индъстри" - Перник са изчислени оптимални температурни режими за нагриване на три типа стоманени блокове с различни размери при различна производителност и състояние на изолацията в долното нагриване. Въведени са следните

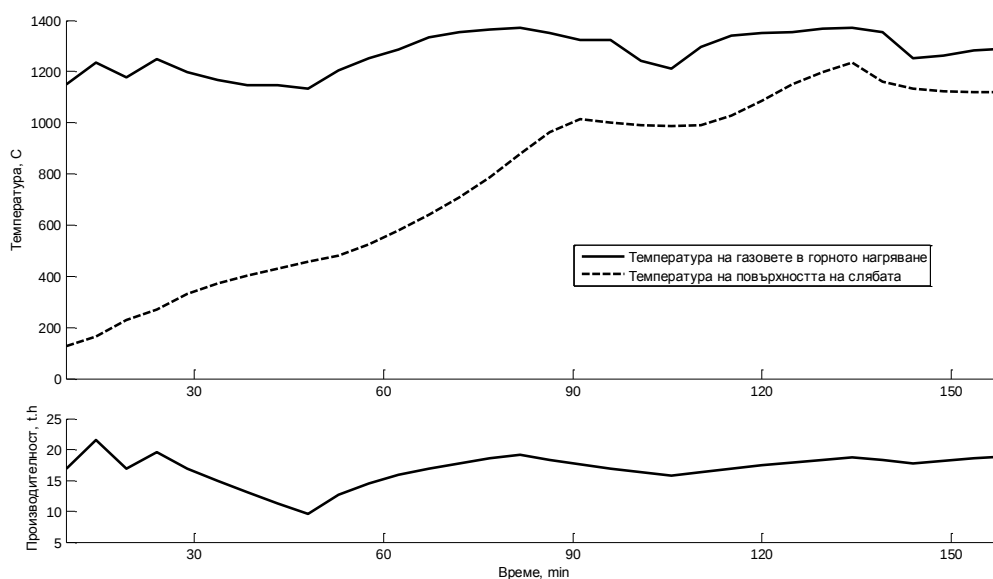
ограничения: зададена средна температура на блоковете в края на нагряването, максимална температура на повърхността на метала и максимална температурна разлика по време на нагряването, максимална температура на стените и свода на пещта.

На фиг.5.19 са представени изчислените оптимални стойности за специфичния разход на газ (с плътна линия) и средните стойности на разхода, получени при обработването на експериментални данни от нагряването на 46 плавки от нисковъглеродни стомани в пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри" за период от един месец. Средното намаляване на разхода на гориво е оценено около 10%, като при ниските производителности това намаляване е в по-голяма степен.



Фиг.5.19: Специфичен разход на газ за пещ №2 към стан 2300 на "Стомана Индъстри"-Перник

Реализиран е динамичен модел за симулация на нестационарни условия за нагряване. На фиг.5.20 е показано изменението на температурите на газовете и на повърхността на сляба от нисковъглеродна стомана с дебелина 250 mm във времето за период от 150 минути при нагряването й променлива производителност.



Фиг.5.20: Нагряване на метален блок при променлива производителност

Чрез динамичния модел за симулация са реализирани две стратегии за определяне на заданията за температура в регулируемите зони на пещта. Оптималните статични режими са използвани като еталонни температурни криви и е минимизирана разликата между еталонните и изчислените температури на нагряваните блокове.

През определен интервал от време чрез динамичния модел се осъществява:

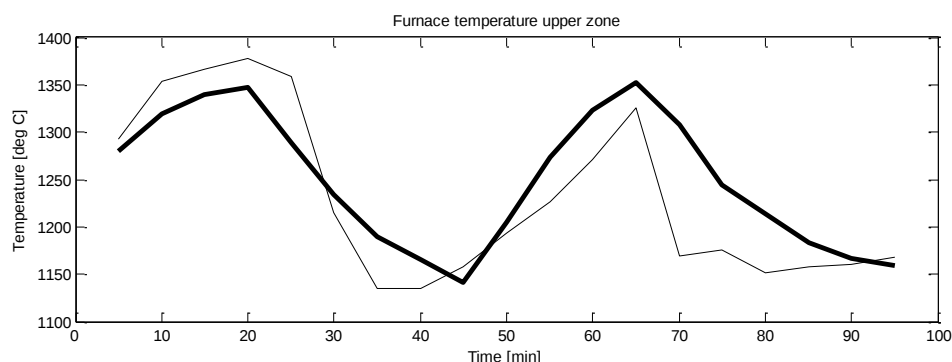
- Актуализация на температурите на газовете, стените и метала според данни от температурни измервания в контролни точки;
- Актуализиране на текущото състояние на температурите на блоковете;
- Оценяване на текущата скорост на движение на блоковете в пещта;
- Извличане на данни за еталонните температури според типа и размерите на блоковете във всяка зона на пещта според избрана стратегия;
- Изчисляване на задания за температура в контролните точки чрез минимизиране на разликите между изчислените температури на блоковете и еталонните температурни криви според избраната стратегия.

Реализирани са две стратегии за управление, различаващи се по избрания критерий за оптимизация. Първата стратегия цели точно нагряване и минимизира разликите между предсказаните от модела и еталонните средни температури на блоковете по дължината на пещта в зависимост от позицията на блоковете: $\sum_{i=1}^n k_i (t_i^{ref} - t_i)^2$, където: k_i са тегловни коефициенти, оценяващи позицията на всеки блок в пещта, t_i е изчислената средна температура на i -тия блок, t_i^{ref} - зададената средна еталонна средна температура на блока. Втората стратегия цели гарантирано нагряване на блоковете чрез минимизация на разликата между минималните средни температура на блоковете и еталонните средни температури в края на зоната на предварително нагряване t_p^{ref} и в края на награвателната зона t_h^{ref} чрез формулата: $k_p (t_p^{min} - t_p^{ref})^2 + k_h (t_h^{min} - t_h^{ref})^2$, където k_p и k_h са тегловни коефициенти.

Двете стратегии налагат допълнително спазването на конструктивни и технологични ограничения:

- Минимални и максимално допустими температури на газовете и стените на пещта;
- Зададена средна температура на блоковете и максимална температурна разлика в температурите на блоковете в края на нагряването;
- Максимална температурна разлика по сечението на блоковете и максимално допустима температура на повърхността на метала по време на нагряването.

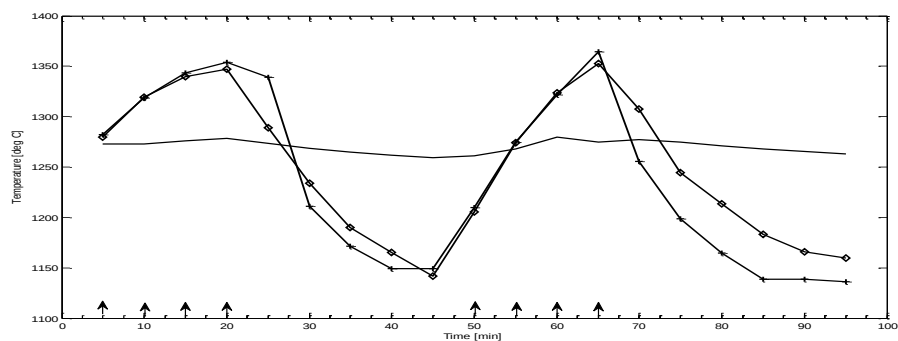
На фиг.5.21 е показано изменението на предсказаните температури в контролна точка в горното нагряване според двете стратегии.



Фиг. 5.21: Изменение на предсказаните температури в контролна точка в горното нагряване според двете стратегии

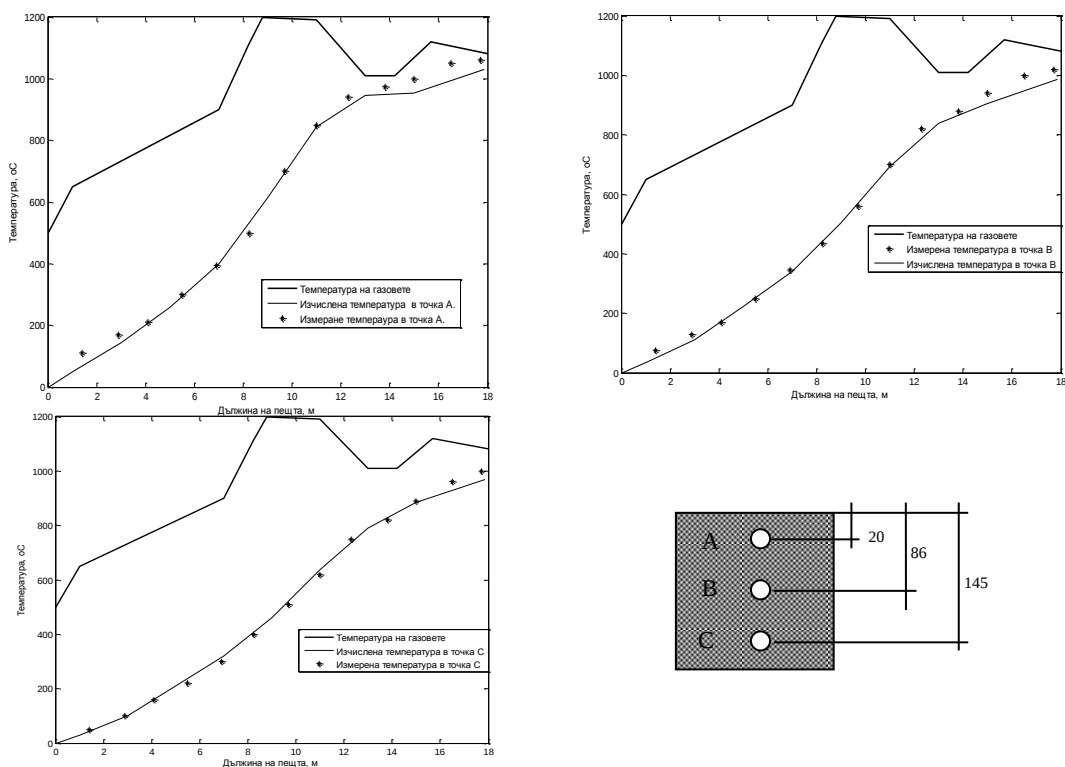
На фиг.5.22 е представено изменението на температурите на газовете в контролните точки на трите зони на пещта при симулираните условия за първата стратегия. Симулацията включва едновременно нагряване на сляби от нисковъглеродна стомана с дебелина от 220

мм и сляби от силикоманганова стомана с дебелина от 250 мм. След стационарни условия на нагряване на блокове от нисковъглеродна стомана за период от 100 минути са симулирани два престоя след 20-та и 65-та минути. При зададените технологичните ограничения се наблюдава изменение на заданията за температура на основните зони, дължащо се на престоите след 20-та и 65-та минути. От фигурите е очевидно намалението на температурите в двете зони в горното и долното нагряване (без изравнителната зона, където технологичните ограничения не позволяват вариране на температурата).



Фиг. 5.22: Изменение на предсказаните температури на газовете в трите зони на пещта

За валидация на модела за нагряване на блуми в пещи с крачещ под са използвани експериментални данни от системата FOCS-RF в пилотна инсталация MEFOS, Metal Working Research Plant. Чрез математичния модел са симулирани условията на провеждане на експеримента. При зададени температури на газовете, с модела са изчислени температурите в три контролни точки във вътрешността на нагриван блок. Резултатите от моделирането са представени на фиг.5.26, показани са местата на измерване на температурите в експерименталния блок, изчислените с модела и измерените температури във вътрешността на блока.



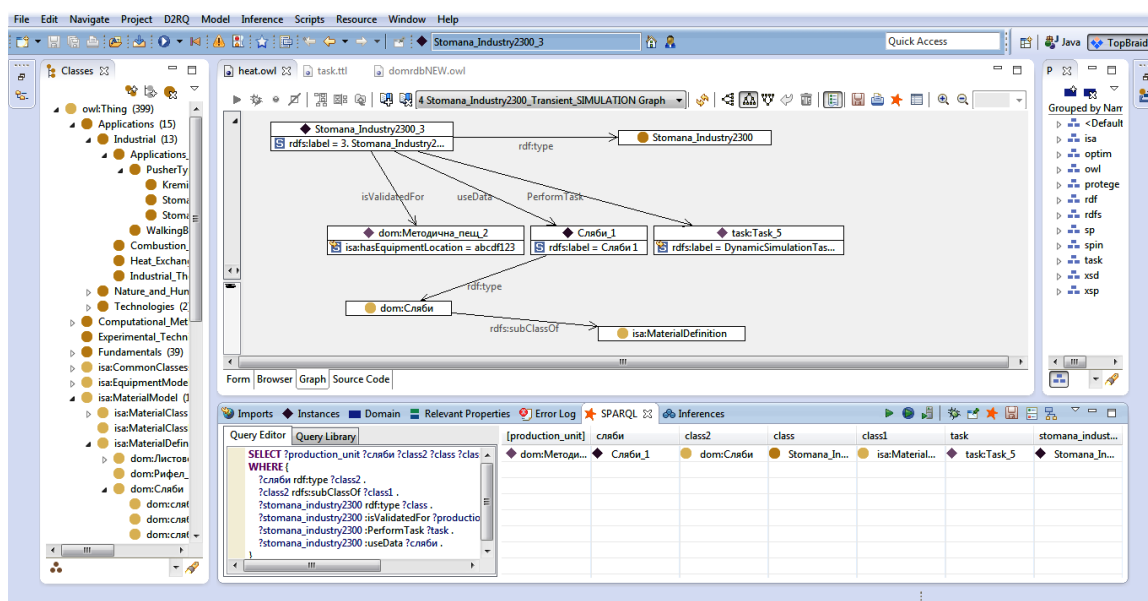
Фиг.5.26: Сравнение на измерени и изчислени стойности на температурата в блок, нагриван в пещ с крачещ под

5.5. Съвместно използване на различни модели, данни и алгоритми

Създаден е обобщен информационен модел чрез интегриране на следните онтологии:

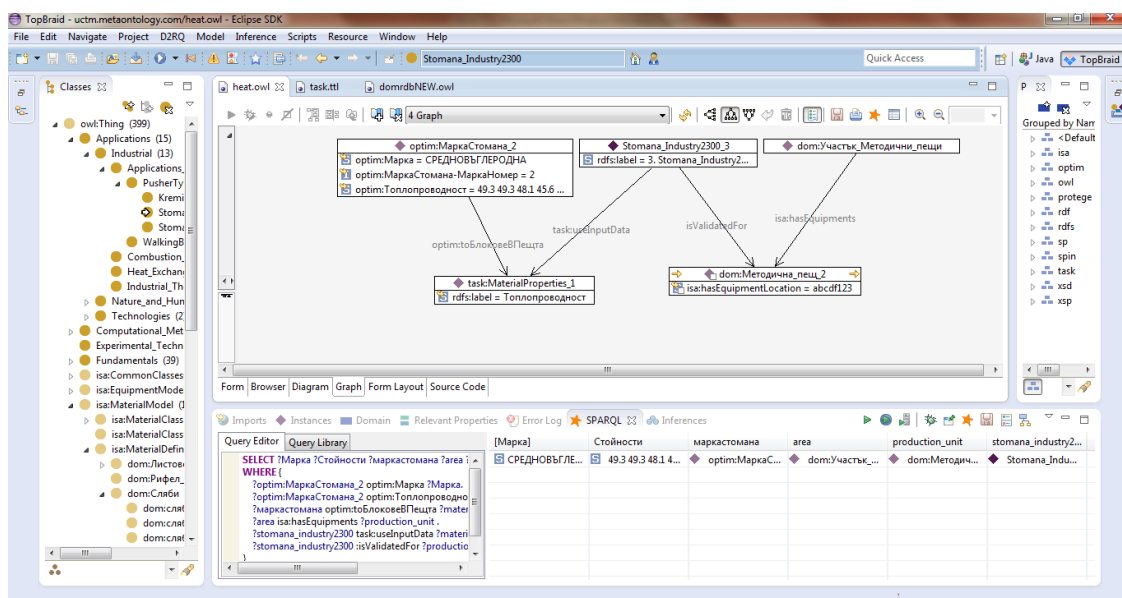
- Онтология на модели, методи и софтуерни продукти за изчисляване на топлообмена в металургични нагревателни агрегати;
- Референтна мета онтология;
- Домейн онтология на производство „горещо валцуване“ (данни за основните агрегати, суровини, продукти и процеси);
- Онтология на задачите;
- Данни за конкретен агрегат, получени от релационна база данни, трансформирана в онтология.

На фиг.5.31 е показана част от граф с класове и индивиди от обобщения модел. Чрез езика за заявки в онтологични структури SPARQL е генерирана заявка за търсене на модел и информация за него. Получени са резултати от онтологията на задачите (:performTask) за модел за динамична симулация (task:Task5, rdfs:label DynamicSimulationTask), информация, че математичният модел е създаден за агрегат към „Стомана Индъстри“ стан 2300 и валидиран (:isValidatedFor) за Методична пещ №2. Входни данни за модела се получават (:useData) от клас dom:Сляби на домейн онтологията, подклас на isa:MaterialDefinition в мета онтологията. Резултатите от заявката, са представени във вид на конкретни класове и индивиди са дадени на фигурата в прозореца SPARQL. Стойностите на параметрите са записани чрез индивиди в обобщения модели и се извличат допълнително.



Фиг.5.31: Свързани класове и индивиди от интегрираните онтологии

На фиг.5.32 е показано извличане за данни за стойностите на коефициентите на топлопроводност за блокове за нагряване (блокове от група марки стомана със средно въглеродно съдържание), необходими за задача за динамична симулация чрез свойството task:useInputData за модел, валидиран за Методична пещ 2, към производствен участък dom:Участък_Методични_пещи в модела на оборудването в домейн онтологията за производство горещо валцуване. Данните за коефициентите на топлопроводност са въведени в модела чрез трансформация на релационна база данни в онтология, като от нея в случая се използват данните от клас optim:МаркаСтомана.



Фиг. 5.32: Извличане за данни за коефициентите на топлопроводност

5.6. Изводи и заключения към пета глава

- Въз основа на предложената обобщена концепция за създаване на модели в областта на производствените системи, е създадена система от взаимно съвместими:
 - модели на основните процеси в металургичните нагревателни агрегати;
 - изграждащи блокове на моделите;
 - алгоритми за решаване на различни инженерни задачи за конкретни агрегати.
- Разработени са:
 - онтология на задачите;
 - онтология на модели, методи и софтуерни реализации за изчисляване на топлинни процеси и агрегати.
- Онтологиите на моделите и задачите са интегрирани с домейн онтология на производство горещо валцуване.

VI. Общи изводи

Представена е единна концепция на процедурите, използвани при създаване, усъвършенстване и развитие на различни по вид и предназначение модели, използвани за изграждане на информационно-управляващите системи на предприятията. Анализирани са възможностите за интегрирано използване на модели в производствените системи, като е акцентирано върху създаването, използването и интеграцията на мета модели и референтни модели с цел да се ускори и улесни проектирането на различни по вид модели и системи посредством общо решение.

Интеграцията на различните онтологии гарантира гъвкава комуникация между информационните системи в предприятията чрез осигуряване на оперативна съвместимост и взаимен обмен на данни. Този подход гарантира лесен и стандартизиран начин за изграждане на потребителски интерфейси за цялата информационна система, улеснявайки по този начин събирането и повторното използване на информацията и знанията.

Изградените по този начин информационно – управляващи системи разполагат със систематизирана информация за конкретните продукти, суровини, персонал и оборудване, изисквания и ограничения, налагани от клиентите, качеството или производителността.

Осигурявайки еднозначно машинно достъпно семантично описание на данните, семантичните модели създават и поддържат унифициран начин на описание и правила, които са в състояние:

- Да осигурят единно описание на данните при разширяване, сливане или разделяне на предприятията;
- Да осигурят начини за достъп и усъвършенствано търсене в разпределени и разнородни източници на информация в множество хранилища и многоезични среди;
- Да осъществят връзка между средствата за моделиране и симулация на технологични процеси, анализи на данни, статистически обработки и др. По този начин данните и моделите могат да се използват многократно за различни цели, в различни заводи, предприятия, отдели.

Създадената система от взаимно съвместими математични модели на основните процеси в металургичните нагревателни агрегати, която осигурява търсене и избор между алтернативни модели за различни задачи при подходящ компромис между точност, скорост и изчислителни средства. Обобщените модели предоставят възможности за обоснован избор и съвместно използване на модели, данни и алгоритми за инженерни изчисления и възможност за извличане на информация от разпределени хетерогенни източници на данни.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

1. Предложена е единна концепция на методите за създаване, развитие и усъвършенстване на различни по вид и предназначение модели за приложение в интегрирани системи.
2. Разработен е онтологично направляван подход за оперативна съвместимост в предприятията, предназначен за реализацията на следните процедури:
 - Надграждане над съществуващите технологии за мениджмънт на данни;
 - Интеграция на обобщени референтни с конкретни домейн модели;
 - Многократна използваемост на модули и стандарти с възможност за интегриране на бизнес модели и операционни правила;
 - Унифициран достъп, извличане и обмен на информация от различни източници;
 - Представяне и обединяване на разнородни модели на данни на базата на семантични модели;
 - Логически анализ за непротиворечивост на данните и информацията.
3. Предложен е вариант на отношения за съответствие между обектно-ориентирани модели и онтологии за целите на създаване на референтна мета онтология.
4. Създадена е референтна мета онтология чрез езика OWL-DL, базирана на стандарта за интегрирани системи за производство и управление ANSI/ISA-S95. Мета онтологията се състои от 105 класа, 300 обектни свойства, 397 свойства тип данни, 187 ограничения върху свойствата. Референтната мета онтология има следните особености:
 - Формира адекватна структура и дефинира еднозначно терминология;
 - Независима е от конкретна индустрия или технология;
 - Улеснява значително изграждането на домейн онтологии;
 - Може да се използва за:
 - проектиране на нови системи за оперативно управление и системи за управление на бизнеса;
 - реинженеринг и интеграция на съществуващи технологии и системи за управление.
5. Предложен е обобщен подход за създаване на домейн онтологии в металургичната индустрия на базата на използване на референтни мета онтологии. Създадени са и следните конкретни домейн онтологии:

- Домейн онтология на завод за производство „Горещо валцуване“-2 към Кремиковци АД;
 - Домейн онтология на производство на олово в цех „Рафинация и рециклинг“ на КЦМ Пловдив.
6. Създадени са методи за оперативна съвместимост на базата на свързани елементи от дефинираните четири процедурни технологични пространства:
 - Технологично пространство на мета моделите;
 - Технологично пространство на системите бази данни;
 - Технологично пространство на езиците за програмиране;
 - Технологично пространство на онтологичното инженерство.
 7. Реализирани са следните обобщени процедури при изграждане на интегрирани системи:
 - Трансформация на модели и данни от MATLAB в СУБД MS Access и СУБД MySQL;
 - Динамично съответствие на модели и данни от СУБД MS Access и СУБД MySQL и OWL онтологии;
 - Интеграция, обработка и извличане на информация за взимане на решения за оперативно управление.
 8. Онтологичните модели са тествани чрез заявки за извличане на информация от различни SPARQL точки за достъп в семантичните хранилища Jena, Sesame 2.7 и платформата TopBraidLive.
 9. Създадена е система от съвместими компоненти за проектиране и управление на металургични производства, включваща:
 - модели на основни процеси в металургичните нагревателни агрегати;
 - изграждащи съставни блокове на моделите на основните топлинни процеси;
 - алгоритми за решаване на различни инженерни задачи за конкретни металургични агрегати.
 10. Разработени са онтология на задачите, онтологии на модели, методи и софтуерни реализации за топлинни процеси и агрегати, които са интегрирани с домейн онтология на производство горещо валцуване.

СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Хаджийски М., Бачкова И., Гочева Д., (2014), Интегриране на модели с различна функционалност в производствени системи, БУЛКАМК'14, 06-07 Ноември, 2014, София, стр.3-9
2. Хаджийски М., Бачкова И., Гочева Д., (2014), Обобщена концепция за създаване на модели в областта на производствените системи, БУЛКАМК'14, 06-07 Ноември, 2014, София, стр.45-51
3. Гочева Д., Бачкова И. (2014), Семантични методи за оперативна съвместимост на предприятията, 11th International Congress Machines, Technologies, Materials 2014, 17-20 Sept, Varna Bulgaria, Vol.4, pp. 23-26
4. Гочева Д., Бачкова И. (2014), Трансформация на UML диаграма на класовете в OWL онтология, International Conference “Automatics and Informatics'2014”, 03-05 October, Sofia, pp. I-277-I-280
5. Гочева Д., Бачкова И. (2014), Онтологично управляван подход за оперативна съвместимост в предприятията, 22-ри международен симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 8-9 май, г. Баня, стр.35-38.

6. Гочева Д., (2013), Онтологично направлявана система за моделиране на топлинни процеси и агрегати, 10th International Congress Machines, Technologies, Materials 2013, 18-20 Sept, Varna Bulgaria, in Proceedings, Vol.3, pp.21-24, 2013
7. Gocheva D, Georgiev, D., Batchkova I. (2013), Ontology-based data management in manufacturing execution systems, in Proceedings of the Anniversary Scientific Conference with International participation "60 years UCTM", June 4-5, 2013, Sofia, pp.64-69.
8. Гочева Д., Бачкова И., (2012), Семантични подходи за оперативна съвместимост в инженеринга на предприятията, Автоматика и информатика, Год. XLVI, 5-6, 2012, стр. 240-244.
9. Гочева Д., Бачкова И., (2011), Онтологично базиран подход за постигане на интероперативност в системите за оперативно управление, Proceeding of the Anniversary Scientific Conference with International Participation "40 Years Department of Industrial Automation", 18 March 2011, UCTM, Sofia, pp.153 – 158
10. Гочева Д., (2010), Стратегии за моделно управление на нагревателни пещи, Международен симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", 12-13.11.2010, Паничище, стр.61-64.
11. Dobrev M., Gocheva D., Batchkova I. (2008), 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
12. Dobrev M., Gocheva D., Batchkova I. (2007), Ontology Development to Support the Knowledge Based Planning of Hot Strip Mill Production Plant, In proceedings of 2nd Annual SEERC Doctoral Student Conference – DCS2007, July 22-23, 2007, Thessaloniki, Greece. CD-proceeding, pp.1-13.