



Онтологический нечётко-возможностный подход к созданию модели управления печью пиролиза

© 2023, И.Т. Кимяев

ООО «Норникель Спутник», Москва, Россия

Аннотация

Для объектов хозяйственной деятельности рассматриваются разработка и применение прикладного подхода к созданию подсистемы принятия управленческих решений, устраняющих возможные семантические разрывы между смежными слоями производственно-технологической иерархии при описании разноуровневых информационных потоков. Созданная с помощью предложенного подхода подсистема принятия решения способна обрабатывать разноуровневые потоки данных в комплексной структуре поддержания указанных объектов в жизнеспособном состоянии. Предложенный подход базируется на вертикально-интегрированных онтологических моделях, созданных с использованием стандартных программных средств. Выявленные семантические связи между концептами внутри формализованных разноуровневых онтологических моделей восстанавливаются с помощью явных и неявных знаний экспертов о ведении производственных операций. В качестве методологической основы извлечения и формализации знаний экспертов в виде нечёткого аналитического полинома выбран нечётко-возможностный подход. Применение предложенного подхода показано на примере управления процессом пиролиза высокомолекулярного углеводородного сырья в специализированных печах.

Ключевые слова: принятие решений, интегрированная система управления, онтологическое моделирование, нечётко-возможностный подход, печь пиролиза, административно-управленческая группа, семантика отношений.

Цитирование: Кимяев И.Т. Онтологический нечётко-возможностный подход к созданию модели управления печью пиролиза // *Онтология проектирования*. 2023. Т.13, №1(47). С.139-149. DOI:10.18287/2223-9537-2023-13-1-139-149.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Технологическая компания является сложным объектом хозяйственной деятельности (ОХД), включающим в себя множество связанных вещественными и энергетическими потоками объектов управления (ОУ) типа технологических линий и агрегатов, сгруппированных в физические, территориальные или функционально-логические домены [1].

Эффективность работы и жизнеспособность каждого отдельного ОУ и ОХД в целом невозможна без наличия многоуровневой интегрированной информационно-управляющей системы (ИУС), позволяющей полностью или частично автоматизировать функции принятия управленческих решений.

Согласно принципу необходимого разнообразия, при создании интегрированной ИУС уровни её функциональной и структурной сложности следует привести в соответствие с уровнями функциональной и структурной сложности ОХД [2].

В современных комплексах ОХД ↔ ИУС существует виртуальная «стена» [3] между различными уровнями управленческой ОТ/ИТ-иерархии (где ОТ - операционные и ИТ - информационные технологии в нотации *Purdue/ISA-95* [4], см. рисунок 1). Возникновение «стены» обусловлено традициями и подходами к созданию программно-аппаратных ком-

плексов рассматриваемых предметных областей (ПрО), проектированию контрольно-управленческих процедур и сетевых протоколов, обеспечению мер информационной и физической безопасности и т.д.

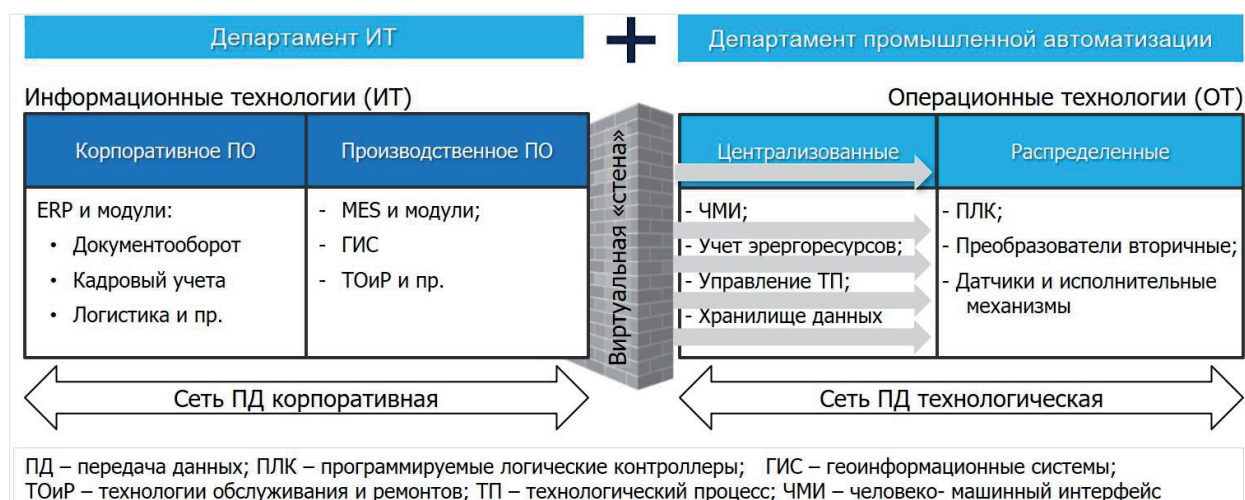


Рисунок 1 - Виртуальная функционально-технологическая «стена» между уровнями управленческой ОТ/ИТ-иерархии

В настоящее время происходит взаимопроникновение («диффузия») ИТ ↔ ОТ, которая проявляется, с одной стороны, в применении ИТ-решений для проектирования архитектуры систем контроля и управления технологическим оборудованием, с другой – востребованностью в информационных системах производственно–корпоративного уровня данных, полученных от средств измерения в «сыром» или минимально обработанном виде.

Отмеченная «диффузия» практически не коснулась актуальных для каждого управленческого уровня подходов и методик синтеза управляющих процедур и алгоритмов для их последующей автоматизации, т.к. они базируются на различных онтологических, математических, терминологических, логико-лингвистических и пр. секторах знаний.

Исторически сформировавшаяся «серая зона» в области обработки информационных потоков на стыке разнородных слоев управленческой иерархий затрудняет выработку высокоэффективных управленческих решений, гармонизированных со всеми участниками производственной деятельности.

Сложившаяся ситуация обуславливает широкое вовлечение в обработку разноуровневой информации и принятие на её базе управленческих решений специалистов экспертного уровня: лиц, вырабатывающих решение (ЛВР); лиц, обосновывающих решение (ЛОР); лиц, принимающих решения (ЛПР). В совокупности ЛВР, ЛОР, ЛПР представляют собой административно-управленческую группу (АУГ) из специалистов различного профиля: технологи, энергетики, механики, экономисты и др., целенаправленная деятельность которой обеспечивает эффективность работы отдельных производственных компонентов и в целом ОХД.

Особую сложность для АУГ при выработке единого управленческого решения, наиболее эффективного в текущей ситуации и в актуальный момент времени, являются различные для каждого участника группы представления об эффективности [2], а также граничные условия их применимости. В частности, для каждого операционного, производственного и/или корпоративного ЛВР, ЛОР и ЛПР периодичность опроса и состав контролируемых параметров (факторов) и возмущений, частота формирования и доступ к управляющим воздействиям, а также формализованные или неявные критерии эффективности, существенно различны.

Таким образом, формирование подходов и методологической базы для разработки эффективных моделей, способных обеспечивать обработку разноуровневых информационных

потоков и решение задач управления производством (с учётом множества критериев и показателей), является актуальной научно-прикладной проблемой.

1 Процесс пиролиза как объект многофакторного и многоуровневого управления

В качестве базового ОХД рассмотрен один из важных технологических этапов в нефтехимической отрасли, а именно, производство олефинов, которое является главной технологической цепочкой и источником основных «строительных блоков» - этилена, пропилена, бутена, бутадиена и бензола [5]. Наиболее распространенной технологией для олефиновых цепочек является высокотемпературный крекинг высокомолекулярного углеводородного сырья - пиролиз, который происходит в специализированных технологических агрегатах - печах пиролиза (ПП) с последующим выделением путём очистки (фракционированием) из пирогаза (ПГ) товарного этилена и сопутствующих фракций. На современных олефиновых производствах количество ПП может достигать восьми и более одновременно работающих единиц с общей производительностью в миллионы тонн в год.

Устойчивость и качество работы пиролизного комплекса определяют устойчивость, качество и экономические показатели работы всех последующих производственных переделов. При этом каждая отдельная ПП может работать на своём, отличном от соседнего агрегата, сырье (широкая фракция лёгких углеводородов, бензин, газойль, нефтя и пр.) с вытекающими отсюда существенными различиями в выборе критериев и режимов управления.

На рисунке 2 представлена типовая ПП, внутри которой находятся четыре змеевика А, В, С, D. Для ведения полнофункционального, иерархически и горизонтально взаимоуязанного, управления пиролизным комплексом используют наборы контролируемых (физически измеряемых) и управляемых (реализуемых) технологических переменных¹: *CV* и *MV* (Таблица 1).

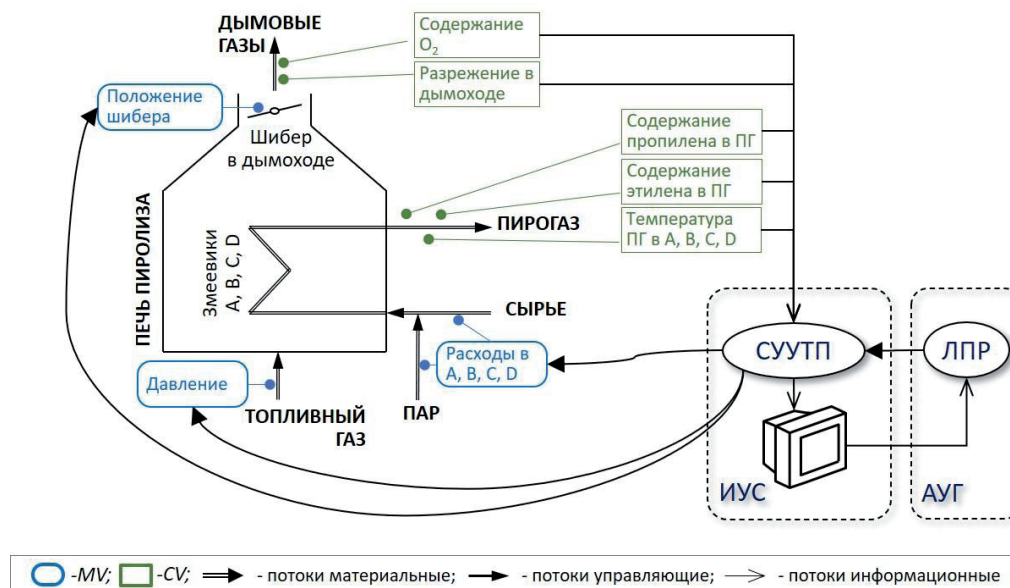


Рисунок 2 - ПП как ОУ со змеевиками А, В, С, D и типовым набором физических измеряемых *CV* и реализуемых *MV*

¹ Предложенный набор переменных (*CV* - controlled variables, *MV* - manipulated variables), приведённый для общего представления о сложности и многофакторности процесса, является типовым практически для любой ПП, при этом не является исчерпывающим.

Таблица 1 - Контролируемые и управляемые технологические переменные для управления ПП

Описание	Переменная ПП	Диапазон измерений		Целевое значение	Ед. изм.
		min	max		
Режим работы ПП	CV1	2	3		ед
Содержание углеродной фракции C ₄ , C ₅ в сырье	CV2.45	35	45		%
Содержание углеродной фракции C ₆₊ в сырье	CV2.6	11	30		%
Температура ПГ целевая	CV3	400	900	851...854	°С
Содержание углеродной фракции C ₂ в ПГ целевое	CV4.2	0	100	>33	%масс
Содержание углеродной фракции C ₃ в ПГ целевое	CV4.3	0	100	<15	%масс
Содержание углеродной фракции C ₂ в ПГ текущее	CV5.2	0	100	>33	%масс
Содержание углеродной фракции C ₃ в ПГ текущее	CV5.3	0	100	<15	%масс
Температура ПГ в А, В, С, D	CV6.A...D	400	900	851...854	°С
Отклонение температуры ПГ в А, В, С, D от средней	CV7.A...D	-4	4	2	°С
Отклонение температуры ПГ в А, В, С, D от целевой	CV8.A...D	-4	4	2	°С
Градиент температуры ПГ в А, В, С, D	CV9.A...D	-4	4	2	°С/мин
Температура ПГ средняя	CV10	400	900	851...855	°С
Отклонение средней температуры ПГ от целевой	CV11	-4	4	2	°С
Градиент температуры ПГ средней текущий	CV12	-4	4	2	°С/мин
Продолжительность эксплуатации ПП	CV13	0,2	1		год
Качество готовой продукции ²	CV14	0,2	1		ед отн
Общая операционная прибыль ²	CV15	0,2	1		ед отн
Энергозатраты ²	CV16	0,2	1		ед отн
Производительность ²	CV17	0,2	1		ед отн
Расход сырья в А, В, С, D	MV1.A...D	0	5000	4600	кг/ч
Давление ТГ перед горелками	MV2	0	5	0,8...1,2	кг/см ²

На рисунке 3 представлена онтологическая модель (ОМ) многоуровневого процесса принятия управленческих решений для ПП. За оперативное (уровня *L2*) управление столь сложными ОУ отвечает, как правило, специфический класс автоматических систем управления технологическими процессами, называемых «усовершенствованными» (СУУТП) [6]. Системы данного класса в составе интегрированной ИУС решают задачу рутинного многофакторного поддержания основных режимных показателей ПП в установленных ЛПП целевых диапазонах.

Достижение перечисленных выше целей возможно путём последовательного / циклического с синхронизацией по времени решения следующих иерархических задач управления:

- поддержание максимальной (или минимальной, в зависимости от установленного к выработке целевого продукта) допустимой температуры ПГ с регламентированными отклонениями;
- многопараметрическое управление подачей сырья и ТГ:
 - а. общая («грубая») стабилизация средней температуры ПГ в заданном (целевом) диапазоне;

² Для данных CV диапазоны измерений приведены в относительных единицах, поскольку для реального олефинового производственного комплекса могут быть представлены различными метриками и колебаться в широких диапазонах.

- b. формирование равномерного температурного профиля ПГ по змеевикам с минимальным отклонением от целевого значения;
- c. корректирующая («тонкая») стабилизация температуры ПГ по потокам (змеевикам) с минимальным отклонением от целевого значения;
- подача пара разбавления по заданному режимному соотношению «пар – сырьё»;
- минимизация содержания кислорода O₂ в дымовых газах (в пределах нормированных значений по разрежению в камере).

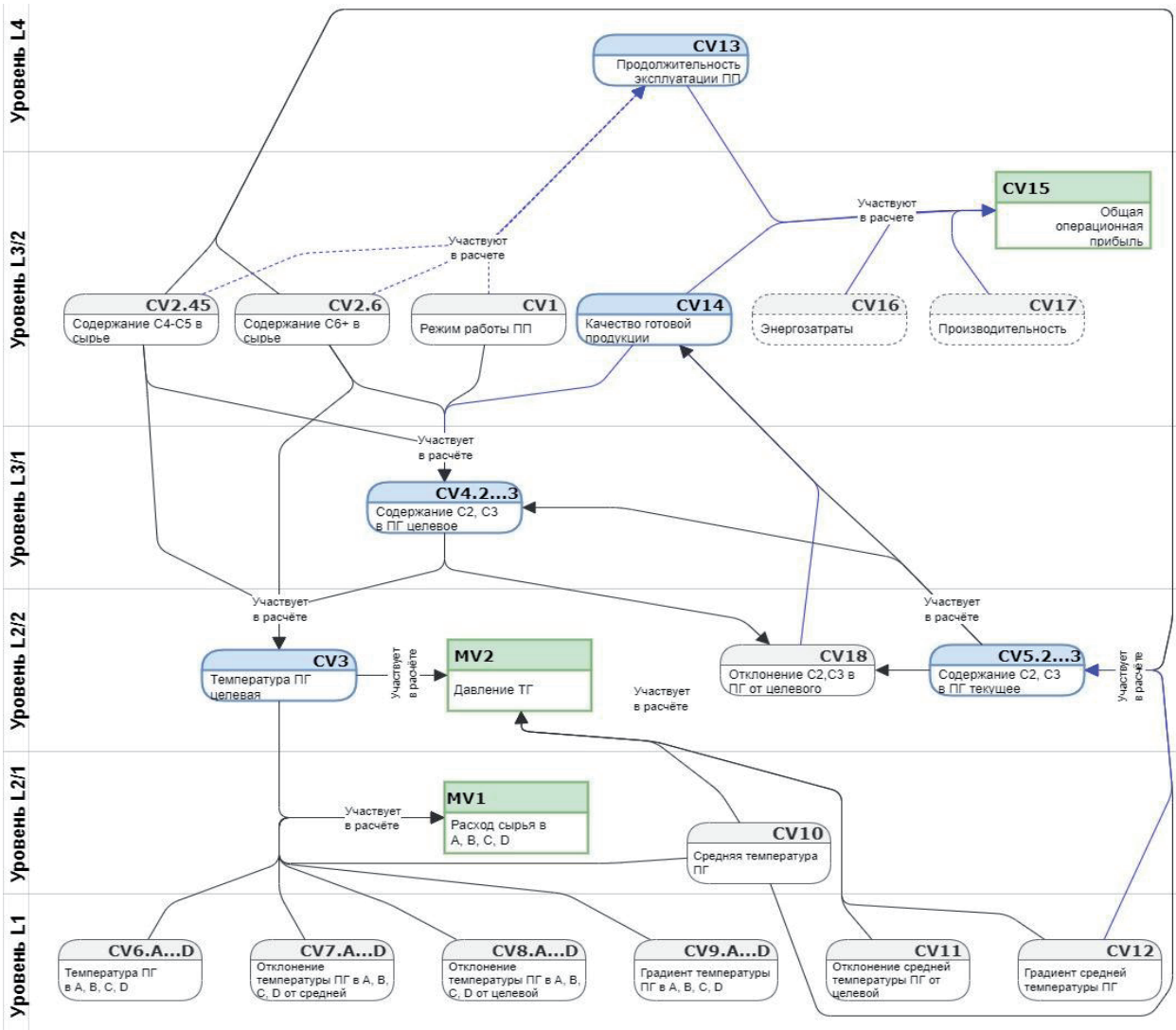


Рисунок 3 - Онтологическая модель многоуровневого процесса принятия управленческих решений для ПП

Создание многофакторных и многокритериальных подсистем управления на производственном уровне L3 (например, системы глобальной динамической стабилизации – СГДО) и выше для олефинового производства сопряжено с существенными капитальными, операционными и временными издержками, с множеством организационно-технологических ограничений, совокупность которых для большинства реальных производственных компаний является препятствием к их внедрению. В этой связи поддержание сложного многокомпонентного ОХД, как комплекса по производству олефинов на базе ПП, в эффективном и жизнеспособном состоянии путём решения производственно-экономических задач, может обеспе-

чить только специализированная АУГ в составе различных предметно-ориентированных экспертов: химики-технологи, экономисты, диспетчеры, логисты и др.

Типовыми задачами управленческой иерархии производственного уровня являются³: управление (прогнозирование) процессом закоксовывания змеевиков ПП [7], например, с целью единовременного вывода всех ПП в плановый ремонт; обеспечение максимальной операционной прибыли олефинового производства с учётом количества и стоимости потребляемых материальных и энергетических ресурсов и др.

Достижение представленных производственно-экономических целей совокупными усилиями экспертов в составе АУГ требует от них принятия решений в своём секторе знаний (онтологий) и ответственности при безусловном учёте информации, поступающей от смежных производственно-технологических и др. служб о состоянии ПП как ОУ. Например, решение о суточном повышении производительности ПП не может быть принято без учёта информации о работоспособности механического оборудования, количестве доступного сырья, уровне закоксованности змеевиков и пр.

Для многокритериального выбора управленческих решений в приведённых задачах и ограничениях необходимо обработать множество разноуровневых количественных и качественных информационных потоков с различной дискретизацией, со слабо формализованными внутренними связями и применить соответствующего уровня сложности методики и подходы к моделированию.

Для решения этих задач предложен подход к логико-математическому синтезу многофакторных моделей, способных отобразить разноуровневые логико-понятийные подходы, используемые каждым членом АУГ на базе реальных технологических данных и неформализованных знаний.

2 Синтез многоуровневой ИУС на базе онтологий и нечётко-возможностного подхода

Одним из эффективных способов идентификации знаний об устройстве сложной ПрО и механизмах функционирования компонентов в её составе является онтологическое моделирование [8, 9] на основе формальных методик дескриптивной логики (ДЛ). Методика [9] нацелена на представление, в данном случае - реальных производственных сущностей (классов сущностей) - в иерархическом виде как абстрактных функциональных эквивалентов (концептов). Для комплекса ИУС ↔ ОХД методика ОМ/ДЛ позволяет средствами формальной семантики эффективно описать явные и неявные, конструктивно и технологически обусловленные, взаимосвязи (отношения, предикаты) между компонентами ОХД, вещественными, энергетическими и информационными потоками и др. В рамках описания ПрО ОМ даёт возможность определить семантику и способы воздействия на компоненты ОХД членов АУГ и/или существующих систем класса ОТ/ИТ, что является идентификацией соответствующих информационных потоков.

Широко распространённым программно-техническим инструментом решения прикладных ОМ-задач для различных секторов знаний является семейство языков *OWL* (*Web Ontology Language* стандарта *W3C - World Wide Web Consortium*), которые представляет комплекс открытых платформ *Open Web Platform* [10].

Рисунок 3 представляет ОМ принятия управленческих решений при ведении пиролиза, которая разработана с использованием семантических элементов *OWL*. Для формирования данной ОМ были использованы данные об аппаратно-технологическом, информационном и

³ Приведённый перечень задач управления не является исчерпывающим, и для конкретного технологического комплекса может быть существенно скорректирован.

др. видах обеспечения ПП как ОУ и декларативные знания членов АУГ различной специализации, которые имеют навыки принятия решений на различных уровнях производственно-технологической и административной иерархии.

Ключевой особенностью разработанной ОМ являются её архитектура, отражающая иерархическую вложенность технологических ($L2$ и ниже) и производственных ($L3$ и выше) управляющих алгоритмов. Сформированная таким образом архитектура учитывает принадлежность реальных CV и MV (Таблица 1), как концептов, различным уровням производственно-управленческой иерархии $L1..L4$, а также включает разветвлённую семантику отношений между ними в виде предикатов «участвует в расчёте».

Рисунок 4 представляет фрагмент детальной ОМ многоуровневого процесса принятия управленческих решений для ПП, сформированной средствами специализированного программного обеспечения (ПО) *Protege*. Из данного фрагмента видно, что ОМ управления реальной ПП включает широкий набор разнородных компонентов ОУ, его внешней среды и внутренней инфраструктуры. Набор компонентов и артефактов выходит далеко за рамки приведённых в таблице 1 типовых CV и MV и охватывает также конструктивные, технологические, экономические и др. ПрО, вовлечённость которых в непосредственное управление ОУ не всегда очевидна.

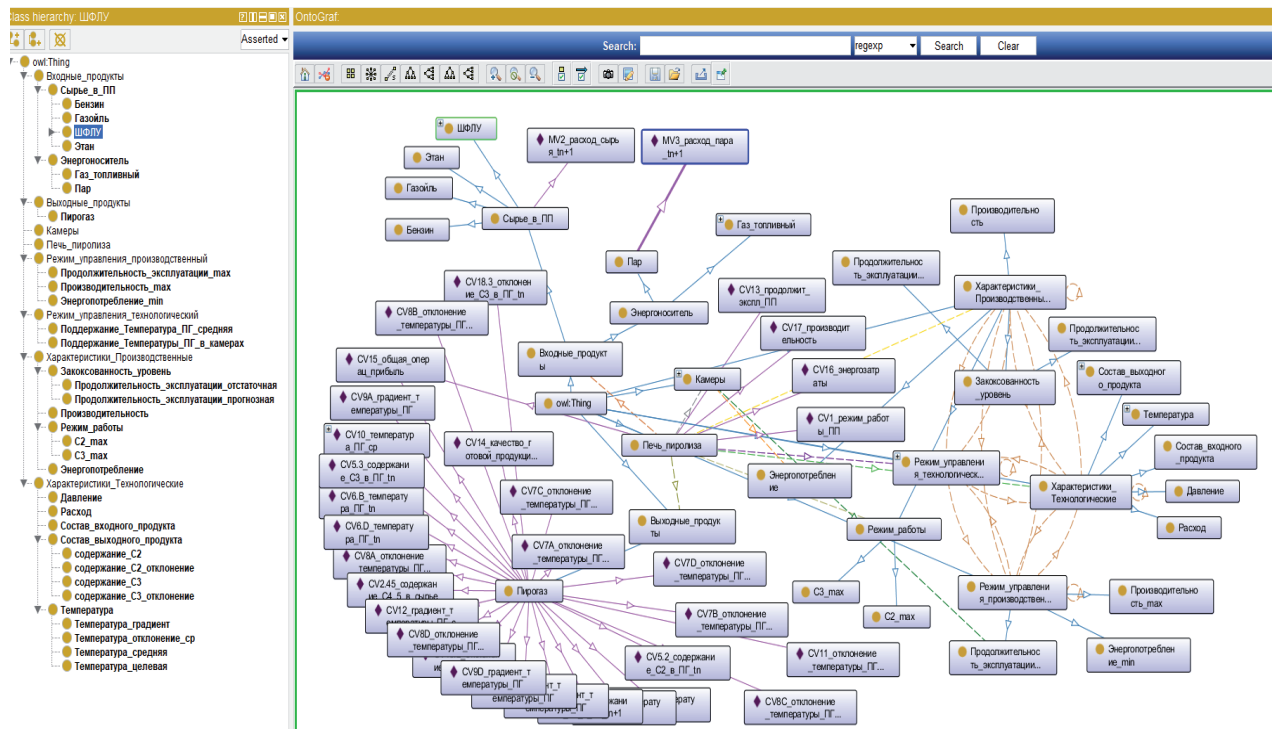


Рисунок 4 - Фрагмент ОМ процесса принятия управленческих решений для ПП, сформированной средствами ПО *Protege*.

Несмотря на высокую прикладную ценность ОМ/ДЛ на базе семейства языков *OWL* для синтеза многоуровневых интегрированных ИУС следует учитывать ряд логико-функциональных особенностей, которые не позволяют построить работоспособную интегрированную ИУС, используя данный подход как единственный. В частности, средствами языка *OWL* затруднительно представить идентифицированные отношения – предикаты между концептами и их классами в виде математически формализованных количественных отношений для последующего применения в управляющих алгоритмах.

Для построения достоверной модели поведения исследуемых ОХД ↔ ИУС ↔ АУГ формализация режимов и состояний ОХД в виде статической взаимосвязи разнородных множеств (концептов) не является достаточной. Например, управляющая модель для сложного ОХД, как основа ИУС, должна быть способна по формализованному тем или иным способом алгоритму рассчитать количественные управляющие воздействия на вещественные и энергетические потоки. Возникает необходимость комбинирования методик ОМ/ДЛ с другими, функционально их дополняющими математическими подходами.

Одним из наиболее эффективных походов к определению количественных отношений между разнородными компонентами ПрО является использование декларативных знаний экспертов с последующим их представлением в формализованном виде средствами нечётко-возможностного подхода (НВП) [11]. НВП предполагает возможность преобразования качественного характера знаний экспертов о причинно-следственных взаимосвязях ОХД ↔ ИУС ↔ АУГ, семантика отношений которых предварительно выявлена, в количественные оценки (например, через дефаззификацию).

Нечёткие функции отклика, для которых предполагается восстановление её количественных величин для явных входных факторов и их неявных межкомпонентных взаимосвязей по методике НВП, представляются аппроксимируемыми полиномами:

$$\tilde{y}^{(k)} = \tilde{b}_0 + \sum_{i=1}^n \tilde{b}_i^{(k)} \tilde{x}_i^{\circ} + \sum_{u,j=1}^n b_{ju}^{(k)} \tilde{x}_j^{\circ} \tilde{x}_u^{\circ}, \quad j \neq u, \quad (1)$$

где k – количество нечётких функций отклика, с помощью которых реализуются управляющие воздействия на компоненты ОХД; n – количество нечётких переменных, задающих факторное пространство работы ОХД; $\tilde{b}_0 \dots \tilde{b}_n$ – коэффициенты, отражающие количественную оценку знаний, опыта и интуицию членов АУГ применительно к ПрО; p – количество нелинейных коэффициентов; $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_r)$, $r = \overline{1, m}$ – нечёткие переменные, задающие факторное пространство работы ОХД на основе декларативных знаний членов АУГ; $m = n + p$.

Для идентификации количественных значений, представленных в виде ОМ (рисунок 3) семантических связей (предикатов), с помощью модели (1) в качестве множества входных переменных x и множества «выходных» переменных y могут выступать как CV , так и MV . Из этого следует, что наборы множеств CV и MV могут выступать в качестве концептов (субъектов и объектов), отношения между которыми определены предикатом «участвует в расчёте» в зависимости от целевой функции и необходимых для её расчёта входных факторов.

Примеры успешного применения НВП для создания управляющих алгоритмов (систем) класса, например, СУУТП можно почерпнуть в работах [12-14].

Из приведённого следует, что комбинированное применение методик ОМ/ДЛ и НВП позволит создать единую, содержащую количественные оценки, модель семантических межкомпонентных отношений ОХД ↔ ИУС ↔ АУГ. Это обеспечит формирование единого семантического пространства вертикальных и горизонтальных взаимосвязей, доступа к актуальным данным для ОТ/ИТ-систем и членов АУГ, снизит риск образования разрыва в оценке текущей ситуации, который зачастую возникает при изолированном проектировании элементов ИУС для каждого слоя управленческой иерархии.

Заключение

Предложен подход к использованию слабоструктурированной информации о ПрО при создании логико-семантической модели интегрированной ИУС для сложных ОХД, который заключается в комбинации двух методик: ОМ на базе ДЛ и НВП.

Ключевой особенностью данного подхода является возможность с его помощью выявить и дать количественную оценку связанным с производственной деятельностью сложным закономерностям независимо от их принадлежности к уровню управленческой иерархии.

Идентифицированные таким образом закономерности в обработке разноуровневых информационных потоков позволяют снизить риск образования межуровневого семантического разрыва в данных потоках, который зачастую возникает при раздельном проектировании элементов ИУС для каждого уровня управленческой иерархии. Исключению подобного разрыва также способствует использование для смежных уровней общих методик и инструментов моделирования. На основе предложенного подхода возможно создать единую многокритериальную модель взаимоотношений между компонентами ОХД ↔ ИУС ↔ АУГ для решения задач производства.

Список источников

- [1] ГОСТР ИСО 15746-1-2016 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Интеграция возможностей усовершенствованного управления технологическими процессами и оптимизации для производственных систем Часть 1 Структура и функциональная модель.
- [2] **Микони С.В.** Теория принятия управленческих решений / 2-е изд.. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 384 с.
- [3] Gartner. Strategic Roadmap for IT/OT Alignment Published 20 February 2020. ID G00466844.
- [4] ISA95, Enterprise-Control System Integration. <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa95>.
- [5] **Дональд Л. Бардик, Ульям Л. Леффлер.** Нефтехимия / Пер. с англ. З. Свитанько. М.: Изд-во «Олимп Бизнес», 2005. 496 с.
- [6] **Sandip Lahiri K.** Multivariable predictive control. Applications in industry ISBN: 9781119243519 John Wiley & Sons Limited, 2017.
- [7] **Хафизов И.Ф., Мусин Р.Р.** Современные тенденции развития процесса пиролиза / *Вестник технологического университета*. 2015. Т.18, №2. С.231-234.
- [8] **Антонов В.В., Конев К.А.** Интеллектуальный метод поддержки принятия решений в типовой ситуации // *Онтология проектирования*. 2021. Т.11, №1. С.126-136. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.
- [9] **Цуканова Н.И.** Онтологическая модель представления и организации знаний. Москва: Гор. линия-Телеком, 2015. 272 с.
- [10] The World Wide Web Consortium. <https://www.w3.org/>.
- [11] **Кимяев И.Т., Spesivtsev A.V.** Ontological and Fuzzy-Possibility Approach to the Synthesis of the DM Functional Equivalent for Management of Hierarchical Systems. In: Silhavy, R. (eds) Artificial Intelligence Trends in Systems. CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 502. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9_53.
- [12] **Спесивцев А.В., Домшенико Н.Г.** Эксперт как «интеллектуальная измерительно-диагностическая система» // Сб. докладов. XIII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям SCM 23-25 июля 2010, Санкт-Петербург. Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. Т.2. С.28–34.
- [13] **Спесивцев А.В., Дайманд И.Н., Лазарев В.И., Кащук А.П.** Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом плавки ПВ-3 Медного завода ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» // *Известия вузов. Цветная металлургия*. 2014. №5. С.64–69.
- [14] **Кимяев И.Т., Спесивцев А.В.** Нечётко-возможностный подход как инструмент управления сложностью интегрированных информационно-управляющих систем. Международная конференция «Региональная информатика (РИ-2022)». Санкт-Петербург, 26-28 октября 2022 г.: Материалы конференции. СПОИСУ. СПб, 2022. 626 с. ISBN 978-5-00182-047-5. С.40-41.

Сведения об авторе

Кимяев Игорь Тимофеевич, 1972 г. рождения. Окончил Норильский индустриальный институт (НИИ) в 1996 г., аспирантуру МИСиС (2001), к.т.н. Инженер-исследователь в области автоматизации технологических процессов и производств. В списке научных трудов более 30 работ в области АСУТП и интеллектуальных систем для сложных производственных объектов. ORCID 0000-0002-5362-4445. igor95a@mail.ru.



Поступила в редакцию 18.12.2022, после рецензирования 16.02.2023. Принята к публикации 20.02.2023.



Ontological fuzzy-possibility approach to creating a pyrolysis furnace control model

© 2023, I.T. Kimyaev

LLC Nornickel Sputnik, Moscow, Russia

Abstract

For objects of economic activity, the development and implementation of an applied approach to creating a subsystem for making managerial decisions that eliminate possible semantic gaps between adjacent layers of the production and technological hierarchy when describing multi-level information flows are considered. The decision subsystem created with the help of the proposed approach is capable of processing multi-level data flows in a complex structure of maintaining these objects in a viable state. The approach proposed by the author is based on vertically integrated ontological models created using standard software tools. The identified semantic links between concepts within the formalized multi-level ontological models are restored using the explicit and implicit knowledge of experts about the conduct of production operations. A fuzzy-possibility approach was chosen as a methodological basis for extracting and formalizing expert knowledge in the form of a fuzzy analytical polynomial. The application of the proposed approach is shown by the example of controlling the process of pyrolysis of high-molecular hydrocarbon raw materials in specialized furnaces.

Key words: decision making, integrated control system, ontological modeling, fuzzy-possibility approach, pyrolysis furnace, managerial group, relationship semantics.

Citation: Kimyaev IT. Ontological fuzzy-possibility approach to creating a pyrolysis furnace control model [In Russian]. *Ontology of designing*. 2023; 13(1): 139-149. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-139-149.

Conflict of Interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 - Virtual functional and technological "wall" between the levels of the OT/IT hierarchy management

Figure 2 - Pyrolysis furnace as an op-amp with A, B, C, D coils and a typical set of physical measured CVs and implemented MVs

Figure 3 - Ontological model of a multi-level management decision-making process for pyrolysis furnace

Figure 4 - Fragment of the OM of the management decision-making process for the pyrolysis furnace, formed by means of the Protege software.

Table 1 - Controlled and managed process variables for pyrolysis furnace control

References

- [1] GOST R ISO 15746-1-2016 Industrial automation systems and integration. Integrating advanced process control and optimization capabilities for manufacturing systems. Part 1 Structure and functional model [In Russian].
- [2] **Mikoni SV**. Theory of managerial decision making: textbook for universities [In Russian]. 2nd ed., corrected. and additional - St. Petersburg: Lan, 2022. 384 p.
- [3] Gartner. Strategic Roadmap for IT/OT Alignment Published 20 February 2020. ID G00466844.
- [4] ISA95, Enterprise-Control System Integration. <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa95>.
- [5] **Burdick DL, Leffler WL**. Petrochemicals in Nontechnical Language. M., Olympus Business, 2005
- [6] **Sandip Lahiri K**. Multivariable predictive control. Applications in industry ISBN: 9781119243519 John Wiley & Sons Limited, 2017.
- [7] **Khafizov IF, Musin RR**. Modern trends in the development of the pyrolysis process [In Russian]. Bulletin of the Technological University. 2015, v.18, v.2, p.231-234 (RINC, HAC)
- [8] **Antonov VV, Konev KA**. Intelligent decision support method in a typical situation [In Russian]. *Ontology of designing*. 2021; 11(1): 126-136. DOI: 10.18287/2223-9537-2021-11-1-126-136.

- [9] **Tsukanova NI.** Ontological model of representation and organization of knowledge [In Russian]. Moscow: Gor. line-Telecom, 2015. 272 p.
- [10] The World Wide Web Consortium. <https://www.w3.org/>.
- [11] **Kimyaev IT, Spesivtsev AV.** Ontological and Fuzzy-Possibility Approach to the Synthesis of the DM Functional Equivalent for Management of Hierarchical Systems. In: Silhavy, R. (eds) Artificial Intelligence Trends in Systems. CSOC 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 502. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9_53.
- [12] **Spesivtsev AV, Domshenko NG.** Expert as an "intelligent measuring and diagnostic system" [In Russian]. Sat. reports. XIII International Conference on Soft Computing and SCM Measurement July 23-25, 2010, St. Petersburg. - St. Petersburg: Publishing house of SPbGETU "LETI", 2010; 2: 28–34.
- [13] **Spesivtsev AV, Daimand IN, Lazarev VI, Kashchuk AP.** Intelligent automated control system for the smelting process PV-3 of the Copper Plant of the Polar Branch of OJSC MMC Norilsk Nickel [In Russian]. *News of universities. Non-ferrous metallurgy.* 2014; 5: 64–69.
- [14] **Kimyaev IT, Spesivtsev AV.** Fuzzy-possibility approach as a tool for managing the complexity of integrated information and control systems international conference [In Russian]. "Regional Informatics (RI-2022)". St. Petersburg, October 26-28, 2022: Conference Proceedings. SPOISU. St. Petersburg, 2022. 626 p. ISBN 978-5-00182-047-5. P.40-41.
-

About the author

Igor Timofeevich Kimyaev, (b. 1972) graduated from the Norilsk Industrial Institute (NII) in 1996, postgraduate study at MISiS (2001), Ph.D. Engineer-researcher in the automation field of technological processes and productions. The list of scientific papers includes more than 30 works in the field of process control systems and intelligent systems for complex production facilities. ORCID 0000-0002-5362-4445. igor95a@mail.ru.

Received December 18, 2022. Revised February 16, 2023. Accepted February 20, 2023.
