



Система поддержки принятия решений при выборе типа кожухотрубчатого теплообменника

© 2024, В.Г. Мокрозуб ✉, А.А.М. Альсаиди

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Аннотация

На примере кожухотрубчатого теплообменника описывается создание онтологии предметной области, позволяющей в зависимости от теплоносителя (аммиак, метанол), технологических условий теплообмена (давление, температура) и геометрических параметров теплообменника (диаметр аппарата) выбрать тип теплообменника (с неподвижными трубными решётками, с компенсатором, с U-образными трубками). Онтология предназначена для использования при проектировании химико-технологических систем на этапе их аппаратурного оформления. Представлена функциональная модель, описывающая основные стадии и информационные потоки аппаратурного оформления химико-технологических систем. Каждая стадия аппаратурного оформления осуществляется с помощью информационной модели, позволяющей преобразовать входной информационный поток в выходной. Описана информационная модель выбора типа теплообменника. Модель представлена продукционными правилами и состоит из операторов определения: материала элементов теплообменника в зависимости от теплоносителя, исполнения по материалу, типа теплообменника. Прототип описанной информационной модели реализован в редакторе онтологий *Protégé*. Приведена онтология и пример запроса на определение типа теплообменника при заданном теплоносителе и технологических параметрах процесса теплообмена. Данные для создания онтологии взяты из нормативных проектных документов. Сделан вывод о целесообразности использования онтологического подхода при создании «умных» проектных документов, в том числе стандартов и технических условий, которые понятны человеку и компьютеру.

Ключевые слова: химическое производство, технологические аппараты, теплообменник, проектирование, функциональная модель, информационная модель, онтология, принятие решений.

Цитирование: Мокрозуб В.Г., Альсаиди А.А.М. Система поддержки принятия решений при выборе типа кожухотрубчатого теплообменника. *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №4(54). С.595-606. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-4-595-606.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Химическое производство представляет собой набор соединённых в определённой последовательности технологических аппаратов (далее аппаратов), в которых выполняются технологические операции или стадии (химические превращения, нагрев, сушка и др.), необходимые для производства определённого продукта. Этот набор аппаратов называется химико-технологической системой (ХТС). Процесс проектирования химических производств включает ряд этапов, среди которых [1]:

- аппаратурное оформление ХТС;
- размещение аппаратов и трассировка трубопроводов в производственном помещении;
- расписание работы ХТС и графики ремонтов аппаратов;
- технико-экономические расчёты.

Аппатурное оформление ХТС заключается в выборе или проектировании таких аппаратов, которые позволяют получить заданное количество продукта за заданное время с минимальными затратами. При этом необходимо определить тип аппарата, который позволит выполнить технологические операции или стадии, и его основные размеры.

Вопросы разработки систем поддержки принятия решений (СППР) при проектировании химических производств рассматриваются в различных публикациях (см., например, [1-4]), но задачам определения типа аппаратов на этапе аппаратурного оформления ХТС уделяется недостаточное внимание. Связано это, прежде всего:

- с большим количеством разнообразных процессов (химические, механические, тепловые, гидродинамические), присутствующих в ХТС, и типов аппаратов, в которых эти процессы реализуются [5];
- с отсутствием формального описания процесса выбора типа аппарата, хотя нормативные документы (стандарты, технические условия и др.) содержат рекомендации по применению аппаратов, и есть условия для создания «умных стандартов», которые можно использовать в СППР.

Созданию «умных стандартов» (*SMART*-стандартов) посвящен ряд публикаций: предпосылки появления понятия «*SMART*-стандарт» [6], особенности и перспективы развития национальной системы *SMART*-стандартизации [7], архитектура и форматы данных в *SMART*-стандартах [8], мировые тенденции развития *SMART*-стандартизации [9]. В России создан проектный технический комитет 711 (ПТК711) «Умные (*SMART*) стандарты» [10] и разрабатываются национальные стандарты, один из которых опубликован [11], другие находятся в доработке после публичного обсуждения [7].

Основой для создания *SMART*-стандартов может стать онтология предметной области (ПрО), т.к. в стандартах описываются объекты, процессы и другие сущности ПрО (наименования понятий ПрО согласно [12]), свойства сущностей и связи между сущностями и их свойствами (отношения между наименованиями понятий [12]). По сути стандарты являются неформализованной онтологией. В [13] рассматривается подход к разработке онтологии на основе стандартов; модель представления онтологии ПрО на основе графовых баз данных описана в [14]; модель комплексной поддержки разработки СППР представлена в [15]; создание онтологий в области машиностроения описано в работах [16, 17]; обзор существующих способов формирования онтологии ПрО при моделировании представлен в [18]; обзор подходов к автоматизации работ с онтологическими ресурсами описан в статье [19].

Целью настоящей статьи является описание создания СППР для определения типа кожухотрубчатого теплообменника (КТ) на этапе проектирования ХТС. В основе СППР лежит онтология ПрО, которая составлена на основе технических условий [20].

СППР при проектировании ХТС создаётся на основе функциональной модели (ФМ), в которой определяются решаемые задачи, информационные потоки и информационные модели (ИМ), преобразующие входные информационные потоки в выходные.

1 ФМ аппаратурного оформления ХТС

Аппаратурное оформление ХТС заключается в:

- определении типов аппаратов на каждой стадии технологического процесса;
- расчёте определяющих размеров и числа аппаратов на каждой стадии (например, для ёмкостного аппарата определяющим размером является объём, для теплообменника поверхность теплообмена);
- конструировании аппаратов на определённых стадиях и разработке технологии изготовления аппаратов.

Функциональная диаграмма верхнего уровня задачи разработки аппаратурного оформления ХТС представлена на рисунке 1. В техническом задании (*tz*) представлены исходные данные на разработку аппаратурного оформления ХТС:

- перечень стадий технологического процесса;

- свойства веществ на каждой стадии;
- параметры процессов каждой стадии (температура, время, расходные нормы используемых веществ и др.).

Техническая документация аппаратного оформления ХТС (pr) включает:

- спецификацию аппаратов;
- конструкторскую документацию на аппараты;
- технологическую документацию на изготовление сконструированных аппаратов.

Управляющими воздействиями (C) являются нормативные документы, регламентирующие условия применения аппаратов, методы технологического расчёта, нормативные документы на конструирование и разработку технологии изготовления аппаратов.

Диаграмма А0 процесса проектирования ХТС представлена на рисунке 2. Основными функциональными блоками диаграммы являются:

- выбор типов аппаратов для каждой стадии;
- расчёт определяющих размеров аппаратов;
- разработка конструкторской и технологической документации отдельных аппаратов.

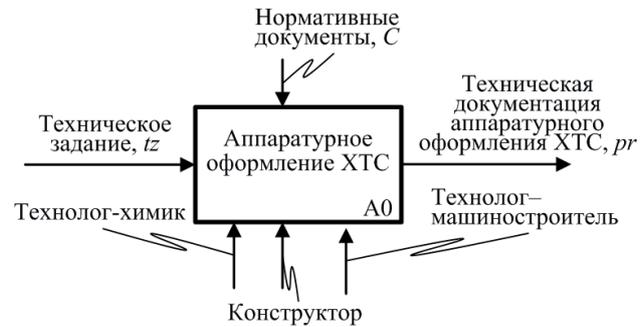


Рисунок 1 – Диаграмма верхнего уровня проектирования химико-технологической системы

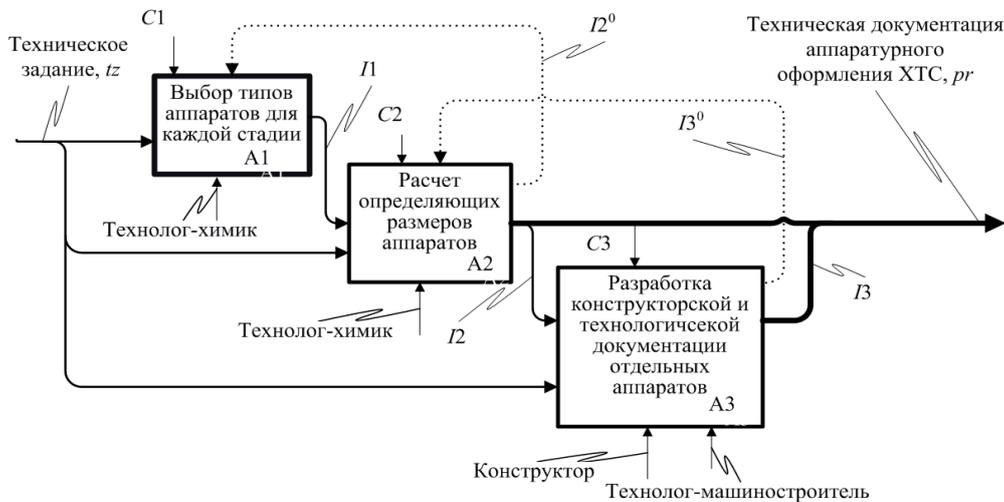


Рисунок 2– Диаграмма А0 процесса проектирования химико-технологической системы

Информационные потоки диаграммы А0:

- $I1$ – типы аппаратов на каждой стадии ХТС;
- $I2$ – определяющие размеры и число аппаратов на каждой стадии;
- $I3$ – конструкторско-технологическая документация изготовления аппаратов;
- $C1$ – нормативные документы, регламентирующие условия применения аппаратов;
- $C2$ – нормативные документы технологического расчёта аппаратов;
- $C3$ – конструкторские и технологические нормативные документы;
- $I2^0, I3^0$ – обратные связи; $C = C1UC2UC3$; $pr = I1UI2UI3$.

В блоке А1 на основании характеристик обрабатываемых веществ и параметров технологического процесса осуществляется выбор типов аппаратов для каждой стадии.

Например, для стадии выпарки, если выпариваемый раствор сильно агрессивный и высококипящий, то выбирается барботажный выпарной аппарат, а для сильнопенящегося термочувствительного раствора наиболее подходящим является пленочный выпарной аппарат. При выборе КТ, если разность температур теплоносителей не превышает 30°C , выбирается КТ с неподвижными трубными решётками.

В блоке А2 для выбранных в блоке А1 типов аппаратов на основании производительности ХТС, времени выполнения операций стадии и нормативных расходов веществ определяется основной размер аппарата и число аппаратов на каждой стадии.

В блоке А3 на основании определяющего размера аппарата разрабатывается конструкторская и технологическая документация аппарата, включающая:

- технологический расчёт аппарата;
- прочностной расчёт элементов аппарата;
- разработку чертежей общего вида, сборочных единиц и деталей;
- разработку спецификации аппарата;
- маршрутные и операционные карты изготовления отдельных деталей;
- нормы расходов материалов;
- карты сборок и др.

ФМ (FM), описывающую преобразование входного информационного потока tz в выходной pr с использованием ИМ (IM) можно записать в виде $FM : tz UC \xrightarrow{IM} pr$. Под IM здесь понимается «формальная модель ограниченного набора фактов, понятий или инструкций, предназначенная для удовлетворения конкретному требованию» [21]. В данном случае:

- «конкретное требование» – получение проектной документации;
- понятия – аппарат, температура, давление;
- факты – температура равна 100°C , давление равно $0,3$ МПа;
- инструкция – если разность температур теплоносителей в КТ больше 40°C , то необходимо использовать температурный компенсатор.

FM и IM представляют собой следующие кортежи:

$$FM = \langle FM1, FM2, FM3 \rangle, \quad IM = \langle IM1, IM2, IM3 \rangle,$$

где $FM1$ – ФМ выбора типов аппаратов для каждой стадии;

$FM2$ – ФМ расчёта определяющих размеров аппаратов;

$FM3$ – ФМ разработки конструкции и технологии изготовления отдельных аппаратов;

$IM1$ – ИМ выбора типов аппаратов для каждой стадии;

$IM2$ – ИМ расчёта определяющих размеров аппаратов;

$IM3$ – ИМ разработки конструкции и технологии изготовления отдельных аппаратов;

$$FM1 : tz UC1 UI2^0 \xrightarrow{IM1} I1; \quad FM2 : tz UI1 UC2 UI3^0 \xrightarrow{IM2} I2; \quad FM3 : tz UI2 UC3 \xrightarrow{IM3} I3.$$

2 Формальное описание ИМ выбора типа аппаратов

ИМ, предназначенная для определения типа аппарата химических производств в зависимости от свойств обрабатываемых веществ, определяется как кортеж $OP = \langle P, T, G \rangle$, где P – таксономия типов аппаратов (КТ, труба в трубе); T – таксономия свойств обрабатываемых веществ (температура, давление, обрабатываемые вещества); G – правила, связывающие вершины дерева аппаратов с вершинами дерева свойств обрабатываемых веществ.

Таксономия аппаратов $P = (PV, PR)$, $PV = \{pv_i, i = 0..I\}$ – множество типов и подтипов аппаратов; $PR = \{pr_{km}, k \in 1..I, m \in 1..I, k \neq m\}$ – связи типа класс–подкласс (например, «КТ – теплообменник с неподвижными трубными решётками»).

Пример таксономии аппаратов в виде графа (дерева) представлен на рисунке 3.

Таксономия свойств обрабатываемых веществ $T = (TV, TR)$, $TV = \{tv_j, j = 0..J\}$ – множество свойств обрабатываемых веществ; $TR = \{tr_{km}, k \in 1..J, m \in 1..J, k \neq m\}$ – связи типа класс–подкласс (например, «Температура – Температура максимальная»). Пример таксономии свойств обрабатываемых веществ в виде графа представлен на рисунке 4.

Ультраграф $G=(GPT, GR)$ связей вершин $PV = \{pv_i, i = 0..I\}$ дерева аппаратов (стоки) с вершинами $TV = \{tv_j, j = 0..J\}$ дерева свойств обрабатываемых веществ (истоки), $GPT \subset PVUTV$ – множество вершин ультраграфа, $GR = \{gr_k, k=1..K\}$ – множество рёбер ультраграфа, $gr_k(Y_k)$ – k -ое ребро ультраграфа, Y_k – множество вершин, инцидентных k -му ребру ультраграфа, $Y_k \subset GRT, Y_k = \{pv_b, TV1\}, pv_b \in PV$ – вершина дерева аппаратов (сток), $TV1 \subset TV$ – множество вершин из дерева свойств обрабатываемых веществ (истоки), $TV1 = \{tv_c, c \in J\}$.

Ребро ультраграфа представляет собой правило (продукцию) вида «Если ..., то ...», которая формально запишется как $\exists \bigcap_{c \in J \subset J} tv_c \Rightarrow pv_l$.

Графическая интерпретация правила (ребра ультраграфа) «Если температура от -40^0 до 350^0 , то тип теплообменника ТН или ТК» представлена на рисунке 5. При этом вершины «Температура максимальная» и «Температура минимальная» являются истоком, а вершины «ТН» и «ТК» – стоком, что показано стрелками на ребре gr_1 .

3 ИМ выбора типа КТ (ИМ1)

ИМ ИМ1 составлена на основе данных [20], где:

$Sr = \{sr_{isr}\}, isr = 1..Isr$ – множество возможных теплоносителей, $Sr = \{\text{Аммиак, Спирт метиловый, Толуол, Уксусная кислота, Ацетон, ...}\}$;

$Tr = \{tr_{itp}\}, itp = 1..Itp$ – множество возможных типов теплообменников, $Tr = \{\text{ТН, ТК, ТП, ТУ, ХН, ХК, ХП, ХУ}\}$, ТН – теплообменник с неподвижно закреплёнными трубными решётками, ТК – теплообменник с температурными компенсаторами на кожухе, ТП – теплообменник с «плавающей» головкой, ТУ – теплообменник с U-образными трубами, ХН – холодильник с неподвижно закреплёнными трубными решётками, ХК - холодильник с температурными компенсаторами на кожухе, ХП – холодильник с «плавающей» головкой, ХУ – холодильник с U-образными трубами;

Теплообменники, PV

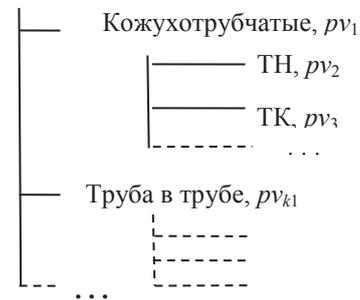


Рисунок 3 – Пример таксономии аппаратов

Свойства обрабатываемых веществ, TV

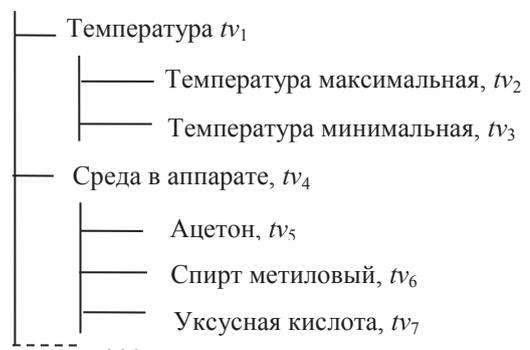
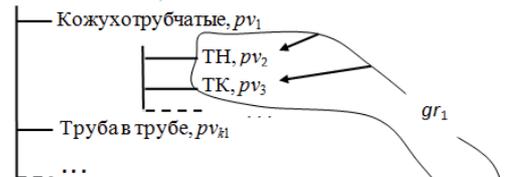


Рисунок 4 – Пример таксономии свойств обрабатываемых веществ

Теплообменники, PV



Параметры технологического процесса, TV

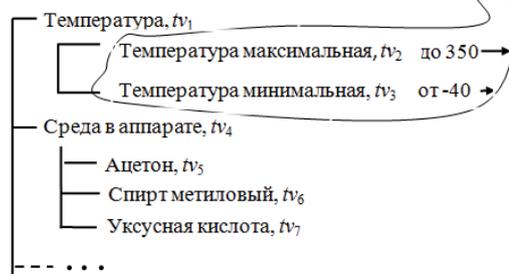


Рисунок 5 – Графическая интерпретация правила вида «Если ... то ...»

$Mt = \{mt_{imt}\}, imt = 1..Imt$ - множество возможных материалов элементов теплообменника, $Mt = \{\text{Ст3, 9Г2С, Сталь 20, 12Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х18Н10Т, Х18Н12М2Т, Х18Н12М3Т, ...}\}$;

$E = \{e_{ie}\}, ie = 1..Ie$ - множество элементов теплообменника, $E = \{\text{кожух, крышки, трубы, трубные решётки, перегородки, ...}\}$;

$M = \{m_{im}\}, im = 1..Im$ - множество возможных исполнений по материалу, $M = \{M1, M3, M8, M9, \dots, M24\}$, например,

$M1$: кожух – Ст3сп; крышки – Ст3сп, 16ГС; трубы – сталь 10, сталь 20; трубная решётка – 16ГС; перегородки – Ст3сп; ...

$M10$: кожух – 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М; крышки – 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М; трубы – 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М; трубная решётка – 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М; перегородки – 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М;

$Pt = \{pt_{ipt}\}, ipt = 1..Ipt$ - давление в трубах, $Pt = \{0.6, 1.0, 1.6, 2.5, 4.0\}$;

$Pk = \{pt_{ipk}\}, ipk = 1..Ipk$ - давление в кожухе, $Pk = \{0.6, 1.0, 1.6, 2.5, 4.0\}$;

Dt - допускаемая разность температур кожуха и труб;

Tt - температура трубы;

Tk - температура кожуха;

$Dv = \{dv_{idv}\}, idv = 1..Idv$ - диаметр кожуха внутренний, $Dv = \{400, 600, 800, 1000, 1200, 1400\}$;

$Dn = \{dn_{idn}\}, idn = 1..Idn$ - диаметр кожуха наружный (задаётся при малых диаметрах), $Dn = \{159, 273, 325, 426, 630\}$;

$Tmax$ - максимальная температура теплоносителя;

$Tmin$ - минимальная температура теплоносителя;

$Me = \{Mk, Mkr, Mt, Mtr, Mp\}$ - материалы элементов теплообменника, соответственно: Mk - кожуха, Mkr - камеры распределительной, Mt - труб, Mtr - трубной решётки, Mp - перегородки.

С учётом введённых обозначений ИМ определения типа теплообменника описывается выражениями:

$$Me = Fm(sr), \quad (1)$$

$$m = Fmt(Me), \quad (2)$$

$$tp = FTp(m, Tt, Tk, Dv, Dn, P, Dt), \quad (3)$$

где Fm - оператор определения материала элементов теплообменника в зависимости от теплоносителя, Fmt - оператор определения исполнения по материалу, Ftp - оператор определения типа теплообменника.

Операторы Fm, Fmt, Ftp представлены в виде правил (продукций). Например:

Fm : ЕСЛИ $sr = \text{Спирт метиловый}$, ТО $Mk=09Г2С$ И $Mkr=09Г2С$ И $Mt=09Г2С$ И $Mtr=09Г2С$ И $Mp=09Г2С$;

Fmt : ЕСЛИ $Mk = \text{Ст3сп}$ И ($Mkr = \text{Ст3сп}$ ИЛИ $Mkr = 16ГС$) И ($Mt = \text{сталь 10}$ ИЛИ $Mt = \text{сталь 20}$) И $Mtr = 16ГС$ И $Mp = \text{Ст3сп}$, ТО $mt = M1$;

Ftp : ЕСЛИ $Tt < 250$ И ($Dn = 159$ ИЛИ $Dn = 273$ ИЛИ $Dn = 325$) И ($P = 1,6$ ИЛИ $P = 2,5$ ИЛИ $P = 4,0$) И ($m = M8$ ИЛИ $m = M10$) И $Dt <= 20$, ТО $tp = \text{ТН}$.

4 Реализация ИМ выбора типа КТ

Прототип ИМ выбора типа КТ разработан в редакторе онтологий *Protege*, рисунки 6-11.

Основными классами сущностей (*Classes*) являются: Среда, Материал, Исполнение по материалу, Типы теплообменников (рисунок 6). Свойства объектов (*Objekt property*): Имеет исполнение по материалу, Материал камеры распределительной, Материал кожуха, Материал перегородок, Материал решётки трубной, Материал труб (рисунок 7). Данные (*Data properties*): Внутренний диаметр кожуха, Давление, Наружный диаметр кожуха, Разность температуры кожуха и труб, Температура кожуха, Температура труб (рисунок 8).

Пример определения материала элементов теплообменника в зависимости от теплоносителя, оператор Fm , выражение (1) (см. рисунок 9).

Пример правила определения исполнения теплообменника по материалу в зависимости от материала элементов, оператор Fmt , выражение (2) (см. рисунок 10).

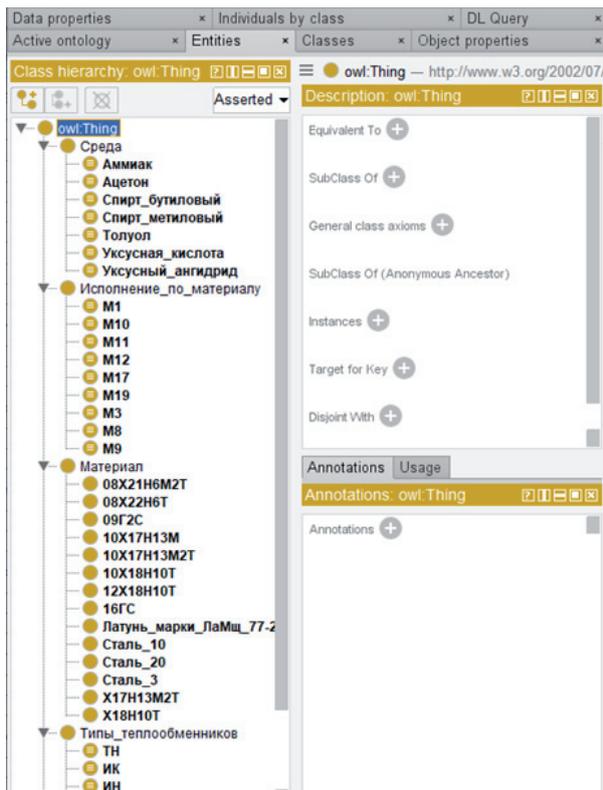


Рисунок 6 – Классы сущностей

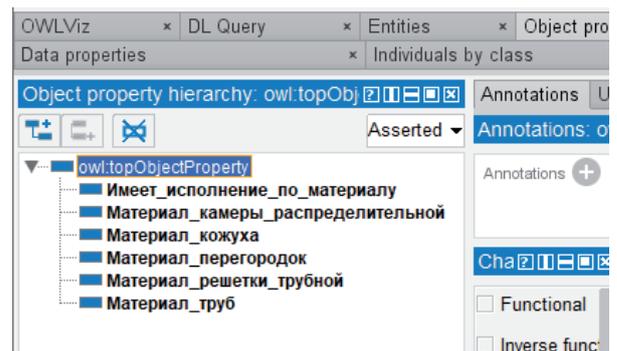


Рисунок 7 – Свойства объектов

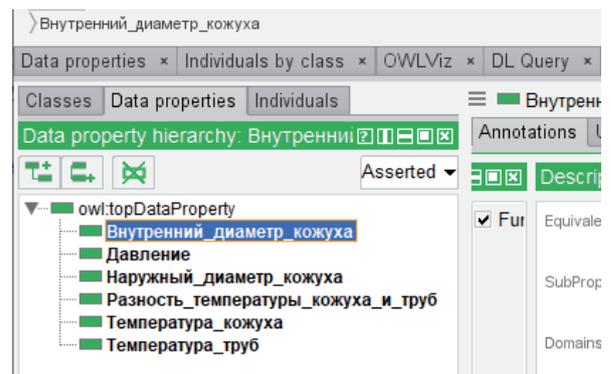


Рисунок 8 – Данные

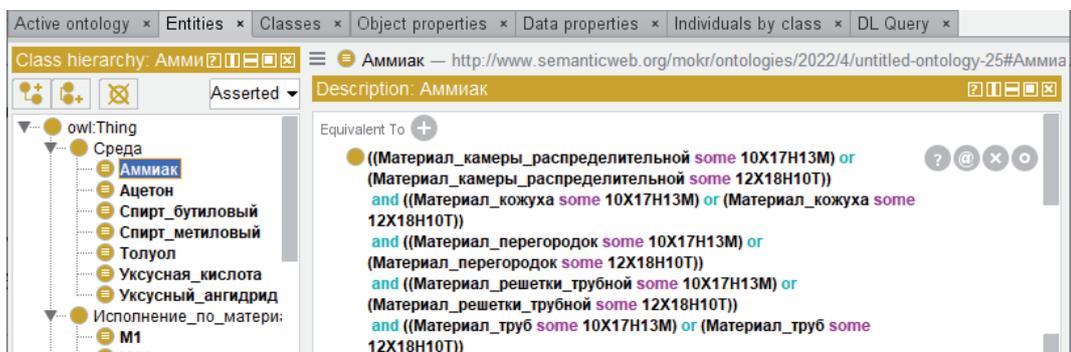


Рисунок 9 – Пример определения материала элементов теплообменника в зависимости от теплоносителя, оператор Fm , выражение (1)

Пример правила определения типа теплообменника в зависимости от исполнения по материалу и условий эксплуатации, оператор Ft , выражение (3) (см. рисунок 11).

Пример запроса на определение типа теплообменника приведён на рисунке 12.

Заключение

СППР при проектировании ХТС включает разработку:

- 1) функциональной диаграммы проектирования ХТС;

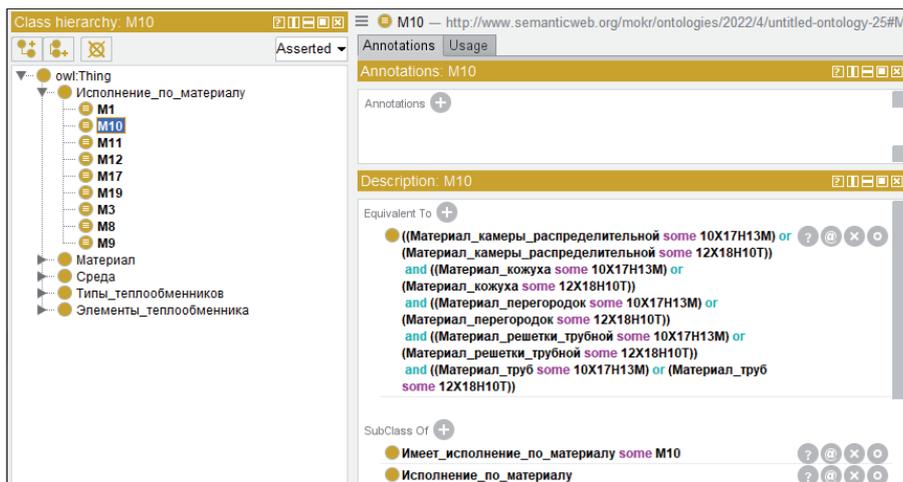


Рисунок 10 – Пример определения исполнения теплообменника по материалу в зависимости от материала элементов, оператор *Fmt*, выражение (2)

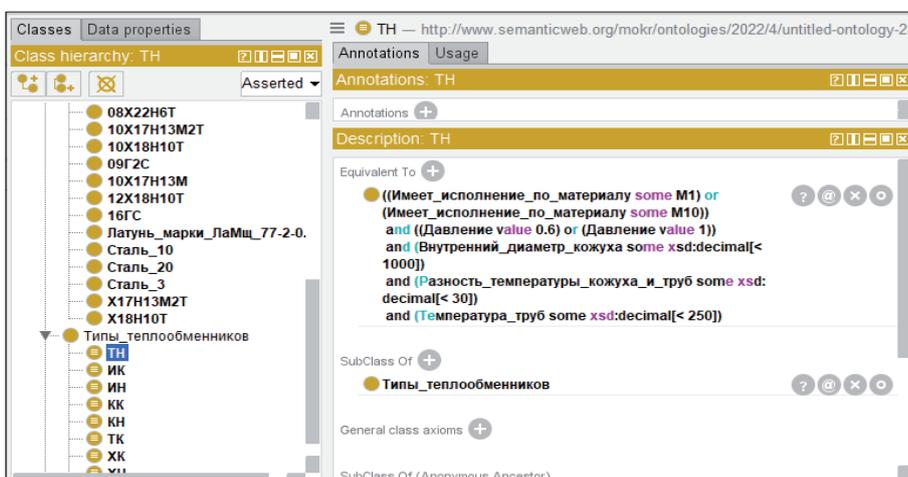


Рисунок 11 – Пример правила определения типа теплообменника в зависимости от исполнения по материалу и условий эксплуатации, оператор *Ft*, выражение (3)

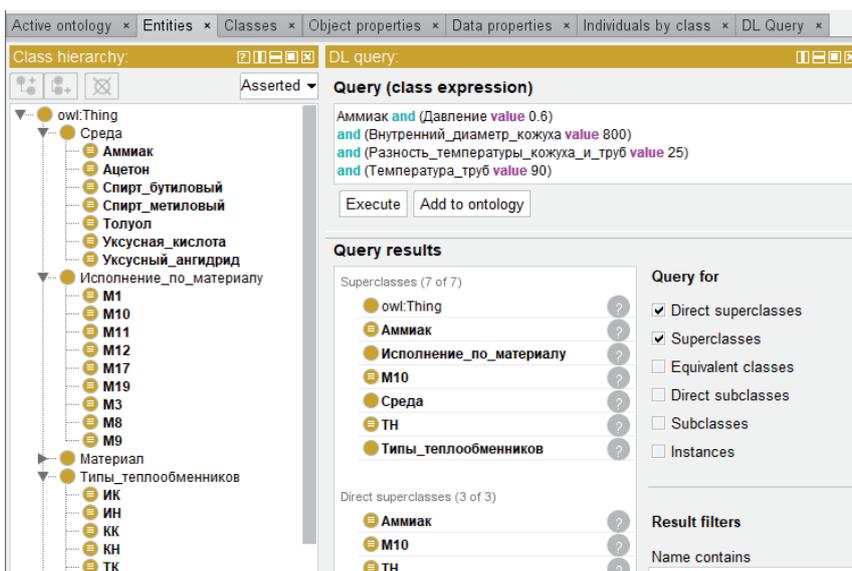


Рисунок 12 – Пример запроса на определение типа теплообменника

- 2) ФМ процесса проектирования ХТС (теоретико-множественное описание функциональной диаграммы) и определение ИМ, реализующих процессы проектирования ХТС;
- 3) ИМ процессов проектирования ХТС;
- 4) компьютерной реализации ИМ.

Представленная онтология выбора типа КТ создана по техническим условиям [20]. Описанный подход может быть использован не только при разработке СППР при проектировании технических объектов, но и при создании *SMART*-стандартов, *SMART*-технических условий и других нормативных документов.

Список источников

- [1] *Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Михайлова П.Г.* Современное состояние в области анализа, синтеза и оптимального функционирования многоассортиментных цифровых химических производств: аналитический обзор. *Теоретические основы химической технологии*. 2021. Т.55, №2. С.154-187. DOI: 10.31857/S0040357121010061.
- [2] *Нургалиев Р.К., Шинкевич А.И.* Применение инструментов моделирования в рамках функционирования "умного" нефтехимического производства. *Computational Nanotechnology*. 2021. Т.8, №1. С.46-58. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-46-58.
- [3] *Богомолов Б.Б., Болдырев В.С., Зубарев А.М., Мешалкин В.П., Меньшиков В.В.* Интеллектуальный логико-информационный алгоритм выбора энергоресурсоэффективной химической технологии. *Теоретические основы химической технологии*. 2019. Т.53. №5. С.483-492. DOI: 10.1134/S0040357119050026.
- [4] *Мешалкин В.П., Панина Е.А.* Методология разработки специализированной онтологии по химической технологии реактивов и особо чистых веществ. *Доклады Академии наук*. 2018. Т.479. №5. С.527-531. DOI: 10.7868/S0869565218110117.
- [5] Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств / под общ. ред. А.С. Тимонина. – 2-е изд., перераб., испр. и доп. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия. 2022. 948 с.
- [6] *Денисова О.А., Дмитриева С.Ю.* SMART-стандарты: нормативные документы для цифровой экономики будущего. *Стандарты и качество*. 2023. № 6. С.42-44. EDN: BDDOZZ.
- [7] *Денисова О.А., Дмитриева С.Ю.* SMART-стандартизация в России. *Стандарты и качество*. 2023. № 7. С.42-46. EDN: WFFRQP.
- [8] *Дмитриева С.Ю., Кубишин О.И., Керимова В.В.* Архитектура и форматы данных в SMART-стандартах: введение. *Стандарты и качество*. 2024. № 3. С.34-38. EDN: MERNEN.
- [9] *Денисова О.А., Дмитриева С.Ю.* ПТК 711 «Умные (SMART) стандарты»: подводим промежуточные итоги. *Стандарты и качество*. 2024. № 6. С.62-67. DOI: 10.35400/0038-9692-2024-6-128-24.
- [10] Проектный технический комитет 711 «Умные (SMART) стандарты» URL: <https://www.gostinfo.ru/pages/Standardization/ptk711>.
- [11] ПНСТ 864-2023. Умные (SMART) стандарты. Общие положения. Дата введения 2024-02-01. URL: https://allgosts.ru/35/020/pnst_864-2023.
- [12] ГОСТ Р 59277 2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. Дата введения 2021-03-01. М.: Стандартинформ 2021. 16 с.
- [13] *Максимов Н.В., Широков В.И., Шаманин А.Ю.* Подход к разработке онтологии для предметной области электроэнергетики на основании стандартов ISO 15926, IEC 61970. *Автоматизация процессов управления*. 2019. №2(56). С.59-66. EDN: IBOXMW.
- [14] *Лисин В.А., Серый А.С., Сидорова Е.А.* Модель представления онтологии предметных областей на основе графовых баз данных. *Вестник Новосибирского государственного университета*. Серия: Информационные технологии. 2022. Т.20, №4. С.24-38. DOI: 10.25205/1818-7900-2022-20-4-24-38.
- [15] *Загорюлько Г.Б.* Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР. *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №4(34). С.462-479. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.
- [16] *Поletaева Е.В., Горлов И.В.* Решение задач синтеза производственных систем на основе онтологии предметной области машиностроения // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. 2019. №2(2). С.40-50. EDN: JVLHRM.
- [17] *Поletaева Е.В., Горлов И.В.* Реализация обработчика онтологии предметной области машиностроения. *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия: Технические науки. 2023. № 4(20). С.76-83. DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-76-83.

- [18] Антонов А.А., Быков А.Н., Чернышев С.А. Обзор существующих способов формирования онтологии предметной области при моделировании. *Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности*. 2021. Т.6, №22. С.12-17. EDN: WMBSEO.
- [19] Шищенко М.А. Подходы к автоматизации работ с онтологическими ресурсами. *Онтология проектирования*. 2024. Т.14, №2(52). С.256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2256-269.
- [20] ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. ОАО «ВНИИнефтемаши». 2002. 112 с.
- [21] ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы. Дата введения 1999-09-22. М: ИПК Издательство стандартов 1999. 16 с.

Сведения об авторах



Мокрозуб Владимир Григорьевич, 1952 г. рождения. Окончил Тамбовский институт химического машиностроения (1974), д.т.н. (2018), профессор (2011). Заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» Тамбовского государственного технического университета. Член-корреспондент Российской академии естественных наук. В списке научных трудов более 200 работ в области САПР и управления предприятиями машиностроительного и химического профиля. ORCID: 0000-0001-6483-8732; AuthorID (РИНЦ): 174837; AuthorID (Scopus): 56976333700; ResearcherID (WoS): GRX-9215-2022. mokrozubv@yandex.ru. ✉.



Альсаиди Аббас Атван Мохавес, 1984 г. рождения. Окончил Политехнический университет Бухареста (2017), магистр (2023). Аспирант Тамбовского государственного технического университета кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». В списке научных трудов семь работ. ORCID: 0009-0001-4084-2152; Author ID (Scopus): 57463110000. abbas.atwan@gmail.com.

Поступила в редакцию 30.07.2024, после рецензирования 25.09.2024. Принята к публикации 30.09.2024.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-595-606

Decision support system for selecting the type of shell-and-tube heat exchanger

© 2024, V.G. Mokrozub✉, A.A.M. Alsaïdi

Tambov State Technical University, Tambov, Russia

Abstract

The article discusses the development of an ontology for the subject area using a shell-and-tube heat exchanger as an example. This ontology enables the selection of the type of heat exchanger (fixed tube sheets, compensator, U-shaped tubes) based on the coolant (ammonia, methanol), heat exchange process conditions (pressure, temperature), and the geometric parameters of the heat exchanger (device diameter). The ontology is designed for use in the hardware design phase of chemical-engineering systems. A functional model is presented that outlines the key stages and information flows in the hardware design of chemical-engineering systems. Each design stage utilises an information model, converting the input information flow into an output one. The article describes an information model for selecting the type of heat exchanger, represented by production rules, which includes operators for determining the material of the heat exchanger elements based on the coolant, material-specific design, and the type of heat exchanger. A prototype of the described information model is implemented in the Protégé ontology editor. The ontology and an example query for determining the type of heat exchanger for a given coolant and heat exchange process parameters are provided. The data for creating the ontology are sourced from regulatory design documents. The article concludes that an ontological ap-

proach is feasible for creating "smart" design documents, including standards and technical specifications comprehensible to both humans and computers.

Keywords: *chemical production, process equipment, heat exchanger, designing, functional model, information model, ontology, decision making.*

For citation: *Mokrozub V.G., Alsaidi A.A.M.* Decision support system for selecting the type of shell-and-tube heat exchanger [In Russian]. *Ontology of designing.* 2024; 14(4): 595-606. DOI:10.18287/2223-9537-2024-14-4-595-606.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures

- Figure 1 – High-level design diagram of a chemical-engineering system
 Figure 2 – A0 diagram of the chemical-engineering system design process
 Figure 3 – Example of apparatus taxonomy
 Figure 4 – Example of properties taxonomy of processed substances
 Figure 5 – Graphical interpretation of the "If ... then ..." rule
 Figure 6 – Entity classes
 Figure 7 – Properties of objects
 Figure 8 – Data
 Figure 9 – Example of determining the material of the heat exchanger elements depending on the coolant, *Fm* operator, expression (1)
 Figure 10 – Example of determining the heat exchanger design on the material of the elements, *Fmt* operator, expression (2)
 Figure 11 – Example of the rule for determining the type of heat exchanger depending on the material and operating conditions, operator *Ft*, expression (3)
 Figure 12 – Example of a request to determine the type of heat exchanger

References

- [1] **Egorov AF, Savitskaya TV, Mikhailova PG.** The current state in the field of analysis, synthesis and optimal functioning of multiassortment digital chemical industries: an analytical review [In Russian]. *Theoretical foundations of chemical technology.* 2021; 55(2): 154-187. DOI: 10.31857/S004035712101006.
- [2] **Nurgaliev RK, Shinkevich AI.** Application of modeling tools in the framework of the functioning of "smart" petrochemical production [In Russian]. *Computational Nanotechnology.* 2021; 8(1): 46-58. DOI: 10.33693/2313-223X-2021-8-1-46-58.
- [3] **Bogomolov BB, Boldyrev VS, Zubarev AM, Meshalkin VP, Menshikov VV.** Intelligent logic and information algorithm for choosing energy-efficient chemical technology [In Russian]. *Theoretical foundations of chemical technology.* 2019; 53(5): 483-492. DOI: 10.1134/S0040357119050026.
- [4] **Meshalkin V.P., Panina E.A.** Methodology for the development of specialized ontology on chemical technology of reagents and especially pure substances [In Russian]. *Reports of the Academy of Sciences.* 2018; 479(5): 527-531. DOI: 10.7868/S0869565218110117.
- [5] **Equipment for oil and gas processing, chemical and petrochemical industries: textbook** [In Russian]. under the general editorship of A.S. Timonin. Moscow; Vologda: Infra-Engineering. 2022. 948 p.
- [6] **Denisova OA, Dmitrieva SYu.** SMART-standards: normative documents for the digital economy of the future [In Russian]. *Standards and quality.* 2023; 6: 42-44.
- [7] **Denisova OA, Dmitrieva SYu.** SMART-standardization in Russia [In Russian]. *Standards and quality.* 2023; 7: 42-46.
- [8] **Dmitrieva SYu, Kubyshkin OI, Kerimova VV.** Architecture and data formats in SMART standards: introduction [In Russian]. *Standards and Quality.* 2024; 3: 34-38.
- [9] **Denisova O.A., Dmitrieva S.Yu.** PTK 711 «Smart standards»: summing up the interim results [In Russian]. *Standards and quality.* 2024; 6: 62-67. DOI: 10.35400/0038-9692-2024-6-128-24.
- [10] **Project Technical Committee 711 «Smart standards»** [In Russian]. URL: <https://www.gostinfo.ru/pages/Standardization/ptk711>.
- [11] **PNST 864-2023.** SMART standards. General provisions [In Russian]. Date of introduction 2024-02-01.
- [12] **GOST R 59277 2020.** Artificial intelligence systems. Classification of artificial intelligence systems [In Russian]. Date of introduction 2021-03-01. Moscow: Standartinform 2021. 16 p.

- [13] **Maksimov NV, Shirokov VI, Shamanin AYu.** An approach to the development of ontology for the subject area of electric power industry based on ISO 15926, IEC 61970 standards [In Russian]. *Automation of management processes*. 2019; 2(56): 59-66. EDN: IBOXMW.
- [14] **Lisin VA, Seriy AS, Sidorova EA.** A model for representing the ontology of subject areas based on graph databases [In Russian]. *Bulletin of Novosibirsk State University. Series: Information Technology*. 2022; 20(4): 24-38. DOI: 10.25205/1818-7900-2022-20-4-24-38.
- [15] **Zagorulko GB.** A model of comprehensive support of intelligent DSS development [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4): 462-479. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-462-479.
- [16] **Poletaeva EV, Gorlov IV.** Solving the problems of synthesis of production systems based on the ontology of the subject area of mechanical engineering [In Russian]. *Bulletin of the Tver State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2019; 2(2): 40-50. EDN: JVLHRM.
- [17] **Poletaeva E.V., Gorlov I.V.** Implementation of the ontology handler of the subject area of mechanical engineering [In Russian]. *Bulletin of the Tver State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2023; 4(20): 76-83. DOI: 10.46573/2658-5030-2023-4-76-83.
- [18] **Antonov A.A., Bykov A.N., Chernyshev S.A.** Review of existing methods for forming domain ontology in modeling [In Russian]. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 2021; 6(22): 12-17. EDN: WMBSEO.
- [19] **Shishenkov M.A.** Approaches to automating processes of working with ontological resources [In Russian]. *Ontology of designing*. 2024; 14(2): 256-269. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-2256-269.
- [20] TU 3612-024-00220302-02. Shell-and-tube heat exchangers with fixed tube grids and shell-and-tube heat exchangers with a temperature compensator on the casing [In Russian]. JSC «VNIIneftemash». 2002. 112 p.
- [21] GOST R ISO 10303-1-99. Production automation systems and their integration. Presentation of product data and exchange of this data. Part 1. General concepts and fundamental principles [In Russian]. Date of introduction 1999-09-22. Moscow: IPK Publishing House of Standards 1999. 16 p.
-

About the authors

Vladimir Grigoryevich Mokrozub (b. 1952) graduated from the Tambov Institute of Chemical Engineering (TIKHM) in 1974, Doctor of Technical Sciences (2018), Professor (2011). Head of the Department of Computer Integrated Systems in Mechanical Engineering at the Tambov State Technical University. Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences. The list of scientific papers includes more than 200 works in the field of CAD and management of engineering and chemical enterprises. ORCID: 0000-0001-6483-8732; Author ID (RINA): 174837; Author ID (Scopus): 56976333700; Researcher ID (WoS): F-8418-2017. mokrozubv@yandex.ru. ✉

Abbas Atwan Mohaves Alsaidi (b. 1984) graduated from the Polytechnic University of Bucharest in 2017, Master's degree (2023). Postgraduate student at the Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering of the Tambov State Technical University. The list of scientific works includes about 7 works. ORCID: 0009-0001-4084-2152; Author ID (Scopus): 57463110000. abbas.atwan@gmail.com.

Received July 30, 2024. Revised September 25, 2024. Accepted September 30, 2024.
