



Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей

© 2022, И.Н. Глухих¹, Т.Г. Шевелев², Р.А. Панов², А.М. Изотов²,
М.О. Писарев¹, Д.А. Лисс¹, В.С. Быков³, А.В. Абрамов³, К.З. Нониева¹✉

¹ Тюменский государственный университет (ТюмГУ), Центр системного инжиниринга, Тюмень, Россия

² ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Цифровое проектирование», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье представлено описание интеллектуальной системы поддержки концептуального проектирования месторождений, включающей в себя онтологическую базу знаний и программный прототип для автоматического конфигурирования системы подготовки газа. Онтологическая база знаний является инструментом для сохранения и воспроизведения инфраструктурных решений, показавших эффективность при реализации нефтегазовых проектов. Описаны онтологические модели-слои, включающие: партономию, таксономию, атрибутивную онтологию, онтологию процессов, онтологию функций, онтологию требований, онтологию расчётных моделей, онтологию оборудования. Каждый слой онтологии содержит знания, необходимые для конфигурирования системы подготовки газа, формализованные с помощью множества концептов и отношений между ними. Опираясь на онтологический подход и функционально-ориентированную онтологию, создан программный прототип для решения следующих задач: конфигурирование под требования, проверка исполнения требований и выявление противоречий при изменении конфигураций. Интеграция методов инженерии знаний и строгих математических алгоритмов в процессах принятия решений позволяет использовать как объективные физические закономерности нефтегазовых процессов, так и менее формализованную информацию об объектах и отношениях между ними. Автоматическая генерация технологических вариантов с учётом множества требований предназначена для использования на ранних этапах проектирования и направлена на ускорение ввода в эксплуатацию и сокращение изменений.

Ключевые слова: инженерия знаний, прикладная онтология, система подготовки газа, концептуальное проектирование месторождений, автоматическое конфигурирование технологических схем, программный прототип.

Цитирование: Глухих И.Н., Шевелев Т.Г., Панов Р.А., Изотов А.М., Писарев М.О., Лисс Д.А., Быков В.С., Абрамов А.В., Нониева К.З. Автоматическое конфигурирование системы подготовки газа на основе онтологических моделей // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Одним из приоритетных направлений деятельности нефтегазовых компаний является повышение эффективности разработки и обустройства нефтегазовых месторождений. Критериями успешности проектов, способствующими росту их рентабельности, являются бюджет, график и качество проекта, которое определяется как соответствие полученного результата требованиям заинтересованных сторон [1].

Анализ сложных проектов показывает, что снижение рентабельности возникает в связи со сдвигом сроков, превышением запланированных бюджетов, что в свою очередь во многом

обусловлено неполным учётом потребностей заинтересованных сторон, неполнотой и (или) неисполнением требований, поздним выявлением ошибок и, как следствие, высокими затратами на их устранение [2, 3]. Сокращение сроков ввода, снижение капитальных затрат и эксплуатационных издержек напрямую влияет на успех реализации проекта, позволяя компаниям достигать лидирующих позиций в своей отрасли.

В проектировании сложных нефтегазовых систем выделяют концептуальное проектирование и системную инженерию, которые обеспечивают жизнеспособность проекта за счёт принятия правильных решений на ранних стадиях разработки [4]. Основные технологические решения формируются на этапах концептуального проектирования, направленных на формирование вариантов разработки и обустройства месторождений и выбор наилучшего на основе технико-экономического обоснования.

Сложность нефтегазовых проектов, высокая степень неопределённости геологических данных обуславливают необходимость создания систем цифрового инжиниринга, которые способны обеспечить интеллектуальную поддержку процессов концептуального проектирования [5-7]. Такие системы должны обеспечить генерацию вариантов технологических решений, отвечающих заданным требованиям и существенным условиям эксплуатации, их характеристику и поддержку выбора с точки зрения определённых критериев и ограничений, см., например, [8, 9].

Таким образом, интеллектуальные системы (ИС) поддержки концептуального проектирования месторождений (ПКПМ) позволяют на ранних этапах нефтегазового проекта разработать технологические варианты с учётом многих требований и условий, в том числе, при разных исходных данных, с учётом возможных ограничений. Это позволяет разработать разные сценарии реализации проекта, ориентируясь на различные варианты технических решений и поставщиков, что актуально в динамично меняющемся мире.

Важной особенностью ИС ПКПМ является интеграция строгих математических методов и расчётных моделей и методов инженерии знаний с процедурами многокритериального принятия решений. Эта интеграция позволяет учитывать и использовать в процессах принятия инженерных решений объективные физические закономерности нефтегазовых процессов и менее формализованные сведения об объектах месторождения и отношениях между ними.

Ориентация на ранние этапы концептуальной разработки, интеграция научных методов для осуществления интеллектуальной поддержки принятия решений с генерацией вариантов и возможностью многокритериального выбора позволяет рассматривать ИС ПКПМ как новый вид программных инструментов [10-12], отличающий его от других известных систем (*MBSE, SysRE, PLM, BIM* и т.п.).

Статья посвящена ключевым вопросам создания ИС ПКПМ, как нового инструмента поддержки проектной команды при разработке нефтегазового проекта. Рассмотрен онтологический подход к созданию ИС ПКПМ. Разработана онтологическая модель для представления знаний, функционально-ориентированная на задачи концептуального проектирования вариантов технологических решений. Приведён пример разработки онтологии и программного прототипа для автоматического конфигурирования установки комплексной подготовки газа (УКПГ), как одного из компонентов ИС ПКПМ газоконденсатного месторождения.

1 Онтологический подход в создании ИС ПКПМ

1.1 Типовые задачи и метамодель функционально-ориентированной онтологии

Информационное ядро ИС ПКПМ составляет онтологическая база знаний (БЗ), функционально-ориентированная на решение прикладных задач в области обустройства месторождений.

В статье [13] представлено использование модели онтологии, содержащей в себе знания об инженерном объекте, свойствах материала и возможностях технологического процесса, для решения задачи многокритериального выбора оптимальной технологии. В работе [14] приведена онтологическая модель сложного технологического объекта как совокупность элементов объекта, отношений между ними и возможных состояний.

Отличительной чертой онтологических моделей прикладного назначения является их направленность на решение задач определённого типа. ИС ПКПМ предназначена для автоматической генерации вариантов наземного обустройства на основе требований и условий эксплуатации. В ИС ПКПМ выделены следующие приоритетные задачи:

- конфигурирование под требования;
- проверка исполнения требований;
- проверка на непротиворечивость при изменениях конфигураций.

Для решения этих задач определён набор концептов и отношений, которые должны быть в разрабатываемой онтологии (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Состав онтологии при решении задач ИС ПКПМ

| Задача | Концепты | Отношения |
|--|--|--|
| Конфигурирование под требования | Объекты Параметры Процессы Функции Требования Продукты Ресурсы Расчётно-логические модели | Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Принимает ресурс Производит продукт Рассчитывается в модели |
| Проверка исполнения требований к оборудованию | Объекты Параметры Требования Расчётно-логические модели | Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Рассчитывается в модели |
| Проверка на непротиворечивость при изменениях конфигураций | Объекты Параметры Требования Расчётно-логические модели | Является частью Имеет параметр Должен соответствовать Рассчитывается в модели |

Детализация процессов решения выделенных задач позволяет обозначить ряд повторяющихся подзадач: определить состав; проверить соответствие требованиям; определить значение; рассчитать значение; подобрать объект для исполнения функции; подобрать аналог; подобрать процесс для получения продукта и т.п. Для их выполнения строятся онтологические модели - слои онтологии, включающие свои подмножества концептов и отношения между ними, а также алгоритмы интерпретации этих моделей. Метамодель функционально-ориентированной онтологии O в общем виде может быть представлена следующим образом: $O = \langle K, R, Z, Q \rangle$, где Z – множество типовых подзадач, K – множество концептов, R – множество отношений, $Q = \{Q_i | i = 1, 2, 3, \dots\}$ и $Q_i \subseteq Z \times K \times R$ – множество онтологических моделей, каждая из которых предназначена для решения своего подмножества задач.

На основе данной метамодели выполнено онтологическое моделирование УКПГ с использованием принципа (допущения) «одна модель – одно отношение», когда каждый слой онтологии отражает связь некоторого подмножества концептов одним из отношений множества R . На основании этого разработаны онтологические модели УКПГ, каждая из которых представляет знания, необходимые для выполнения определённых подзадач в процессах конфигурирования системы подготовка газа.

1.2 Онтологическое моделирование УКПГ

Архитектура онтологической БЗ представляет собой совокупность нескольких взаимосвязанных слоёв-моделей, каждый из которых обладает определённым набором характеристик для описания нефтегазовой системы. Концептуальная схема онтологии УКПГ, приведённая на рисунке 1, включает основные макросущности для описания инженерных проектов и отношения между концептами внутри каждой онтологии.

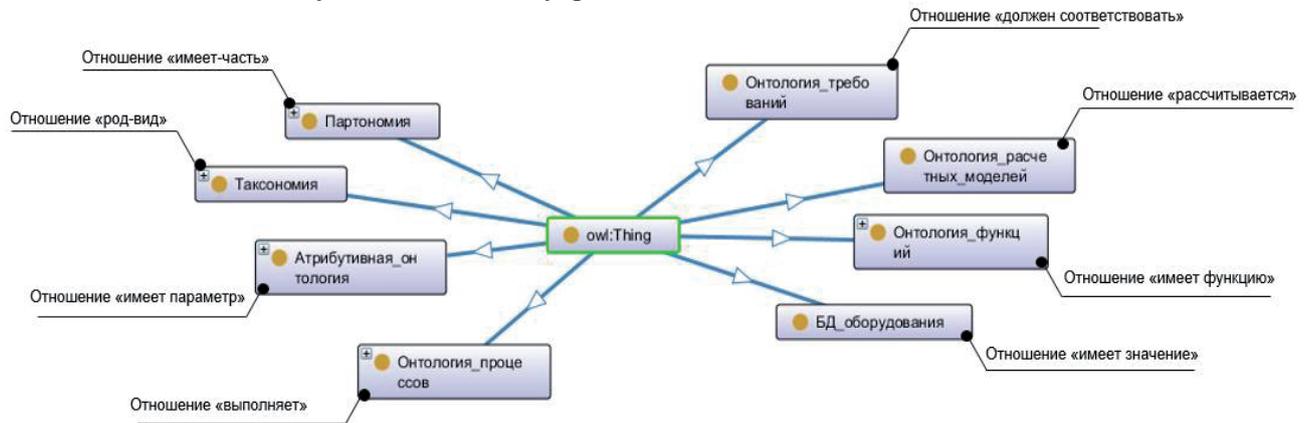


Рисунок 1 – Концептуальная схема онтологии УКПГ

На основе представленной архитектуры БЗ разработана онтологическая модель системы подготовки газа, включающая множество концептов и отношений внутри каждого слоя-модели, необходимых при конфигурировании объектов УКПГ.

Онтологическая модель УКПГ представляет собой открытую и дополняемую структуру, состоящую из следующих онтологий.

- Онтология партономия (отношение «часть-целое», см. рисунок 2) описывает перечень объектов с разным уровнем детализации в составе системы подготовки газа, объединённых в блоки основного и вспомогательного назначения.
- Онтология таксономия (отношение «род-вид», см. рисунок 3) включает в себя классификацию нефтегазовых объектов по определённому критерию, например, по типу назначения оборудования, что позволяет находить варианты оборудования при выполнении той или иной функции для его замены на более подходящие в текущих проектных условиях.
- Онтология атрибутов (отношение «имеет параметр») содержит в себе связи между объектами и атрибутами, описывающими характеристики их свойств и спецификаций.
- Онтология процессов (отношение «выполняется», см. рисунок 4) включает в себя взаимосвязь процесса с функциями, направленными на получение одного или нескольких товарных продуктов, среди которых выделяются следующие: осушенный и отбензиненный газ; нестабильный, деэтанализированный и стабильный конденсат; широкая фракция лёгких углеводородов и др.
- Онтология функций (отношение «имеет функцию», см. рисунок 5) включает в себя функциональную классификацию по типу воздействия на ресурс, взаимодействующий с нефтегазовым объектом подготовки, для решения задачи подбора вариантов с более подходящими характеристиками.
- Онтология требований (отношение «должен соответствовать»), которая связывает между собой объекты, атрибуты и предъявляемые к ним требования со стороны различных заинтересованных сторон и нормативно-технической документации.
- Онтология расчётных моделей (отношение «рассчитывается») включает в себя комплекс математических формул и алгоритмов для определения значений атрибутов объектов в

рамках решения задачи подбора экземпляров из базы данных (БД) и связывания требований разного уровня для поиска противоречий.

- БД оборудования (отношение «имеет значение») содержит перечень экземпляров объектов с конкретными значениями атрибутов, к которым обращаются расчётные модели для подбора конфигурации оборудования, удовлетворяющей проектным данным и нормативно-техническим требованиям.

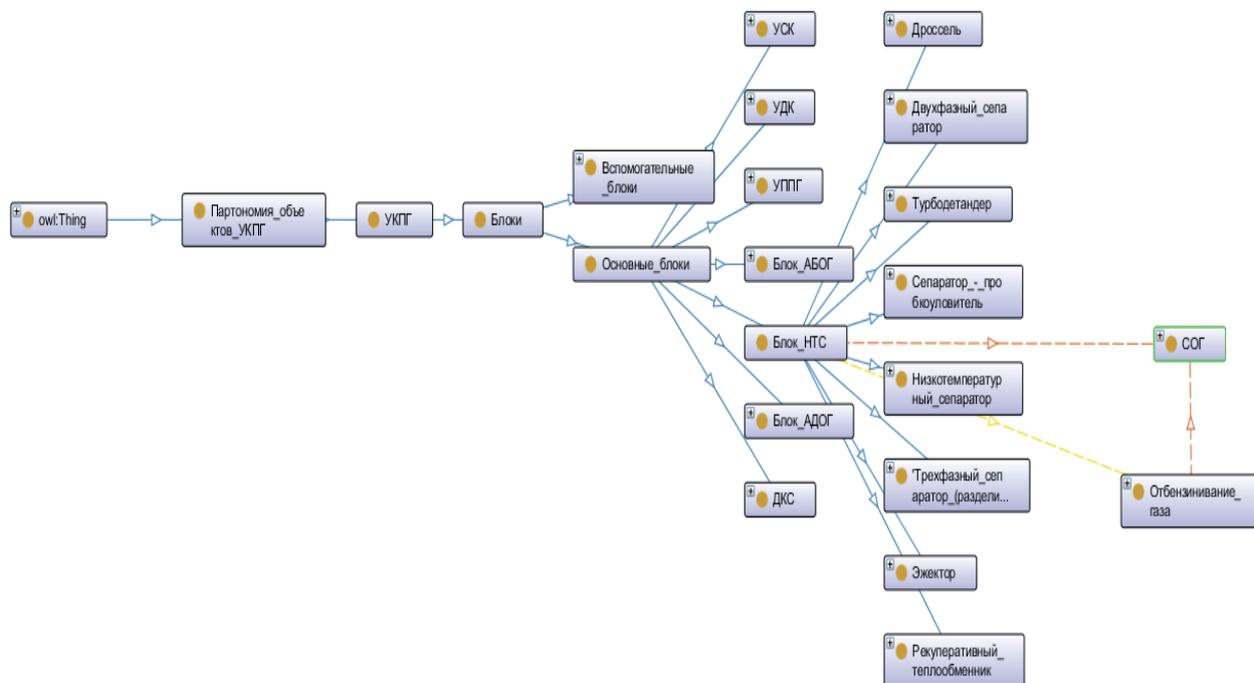


Рисунок 2 - Фрагмент онтологической модели партономии в рамках описания УКПГ

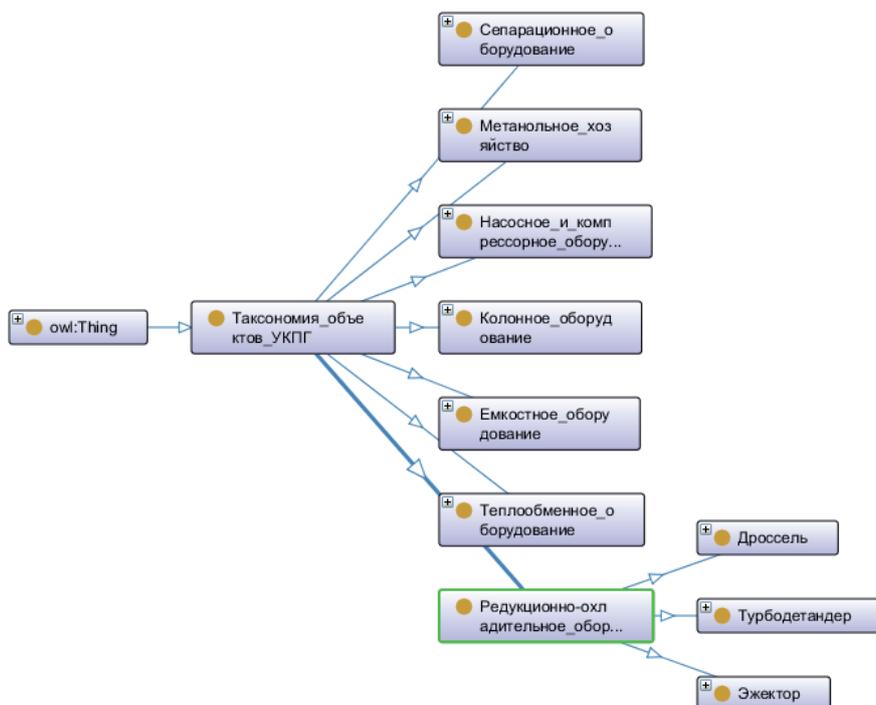


Рисунок 3 - Фрагмент онтологической модели таксономии в рамках описания УКПГ

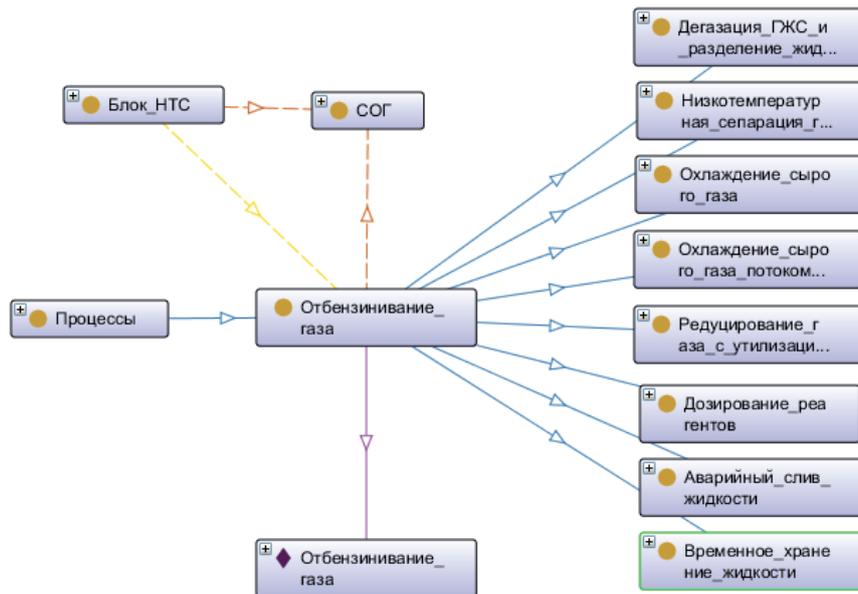


Рисунок 4 - Фрагмент онтологии процессов в рамках описания УКПГ

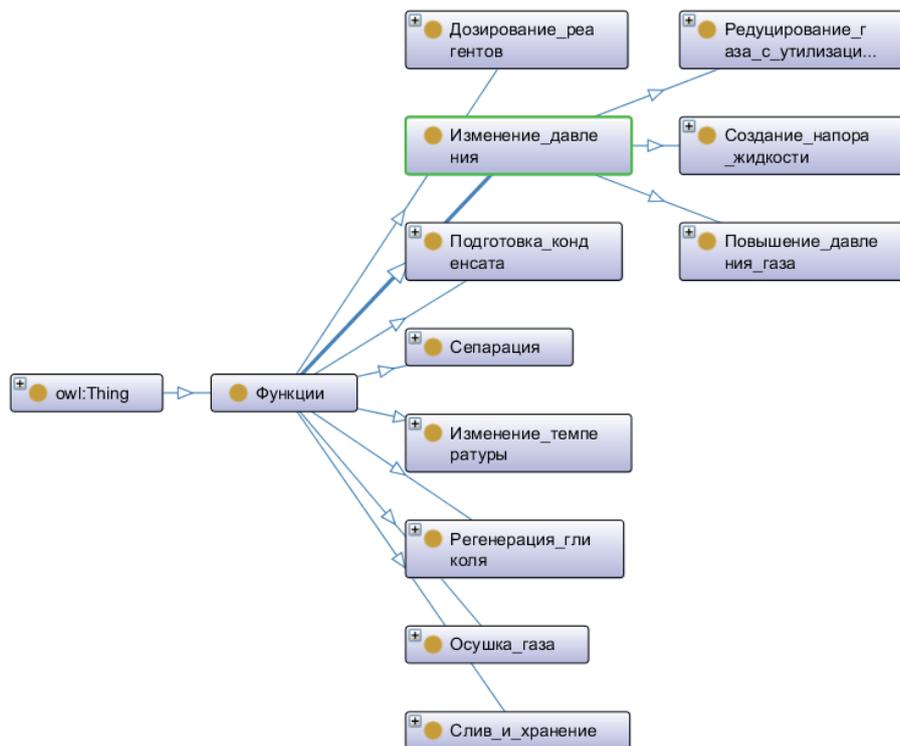


Рисунок 5 - Фрагмент онтологии функций в рамках описания УКПГ

Функциональные возможности онтологической БЗ определяются пользовательскими ролями и соответствующими им правами доступа: инженеры по знаниям могут дополнять онтологию новыми концептами и отношениями; специалисты по БД вносят экземпляры объектов, включая их технико-стоимостные параметры; пользователи (инженерно-технический персонал) имеют доступ для просмотра онтологии и получения необходимой информации. Таким образом выполняется требование открытости онтологической модели - возможность пополнения онтологической модели новыми концептами и отношениями, что позволит решать новые задачи.

2 Программный прототип для концептуального проектирования УКПГ

Результаты онтологического моделирования стали основой для создания БЗ и реализации программного прототипа для концептуального проектирования УКПГ. Сложность проектирования УКПГ связана с разнообразием параметров и состава потока углеводородов на входе, значения которых влияют на состав, конфигурацию и параметры оборудования, входящего в состав установки. Это обуславливает множество возможных вариантов компоновок и спецификаций тех объектов, которые рассматриваются в процессе концептуального проектирования. Программа автоматического конфигурирования должна обеспечить быструю генерацию вариантов с учётом возможных ограничений и требований к составу и параметрам товарных продуктов, а также оценку вариантов по критериям стоимости в целях последующего обоснования выбора наиболее подходящего из них. Вывод результатов работы прототипа осуществляется в форме, понятной инженеру-технологу, – в виде технологической схемы с отображением атрибутивной информации на блоках этой схемы.

На рисунке 6 представлена архитектура программного прототипа, который состоит из следующих блоков:

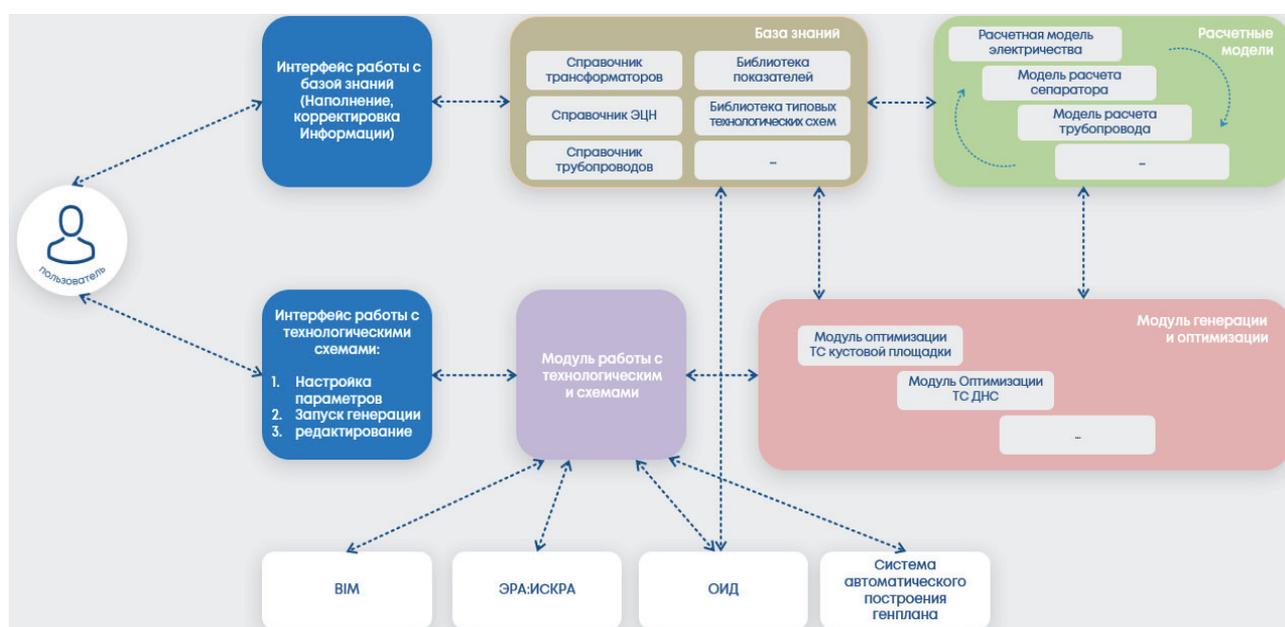


Рисунок 6 – Архитектура программного прототипа

- *интерфейс пользователя* служит для запуска расчётов, отображения полученных результатов, а также для редактирования сгенерированной технологической схемы;
- *БЗ* содержит знания о предметной области, сформированные на основе разработанных онтологических моделей; включает перечень блоков, функциональные взаимосвязи и отношения между ними;
- *расчётные модели* используются для расчёта материального баланса и физических параметров потока, на их основе по данным входного потока вычисляются параметры необходимого оборудования;
- *модуль генерации и оптимизации* служит для генерации технологической схемы с использованием алгоритмов работы со знаниями и расчётными моделями;
- *модуль работы с технологическими схемами* используется для преобразования технологической схемы в графический вид и интеграции со сторонними системами.

Решение задачи построения технологической схемы УКПГ состоит из нескольких этапов, представленных на рисунке 7.

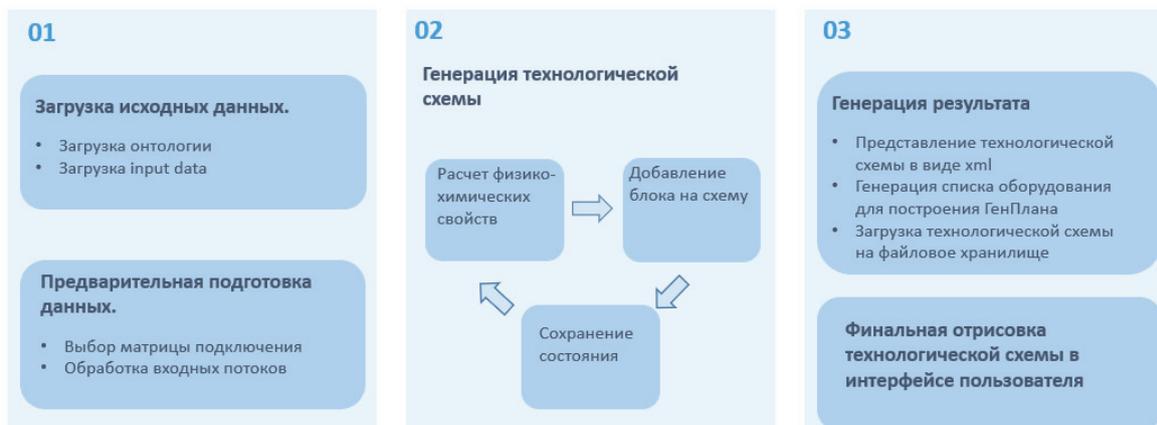


Рисунок 7 – Этапы построения технологической схемы

Обращение к онтологическим моделям БЗ, приведённым на рисунке 1, происходит итеративно на всём цикле построения и расчёта технологической схемы. После внесения пользователем товарной корзины продуктов определяются применимые варианты технологической схемы, описанные в онтологии процессов. Состав блоков УКПГ, выбранных на предыдущем этапе, формируется в ходе обращения к онтологиям партономия и таксономия для подбора подходящих в текущих проектных условиях объектов. Поиск вариантов объектов происходит с помощью онтологии функций для решения задачи подбора альтернатив. После построения технологической схемы выполняется расчёт параметров потока и оборудования на основе атрибутивной онтологии и онтологии расчётных моделей. Проверка исполнения требований от заинтересованных сторон и нормативно-технической документации осуществляется на базе онтологии требований. Спецификации экземпляров объектов определяются при обращении к БД оборудования, которая содержит информацию о технико-стоимостных параметрах объектов от заводов-изготовителей.

Программная реализация выполнена с помощью *Python 3.6.9*, *PostgreSQL*, *draw.io*, *FastAPI*, *AWS S3*. Использована гексагональная архитектура для построения технологической схемы и *REST* для приложения.

3 Пример работы программного прототипа при конфигурировании УКПГ

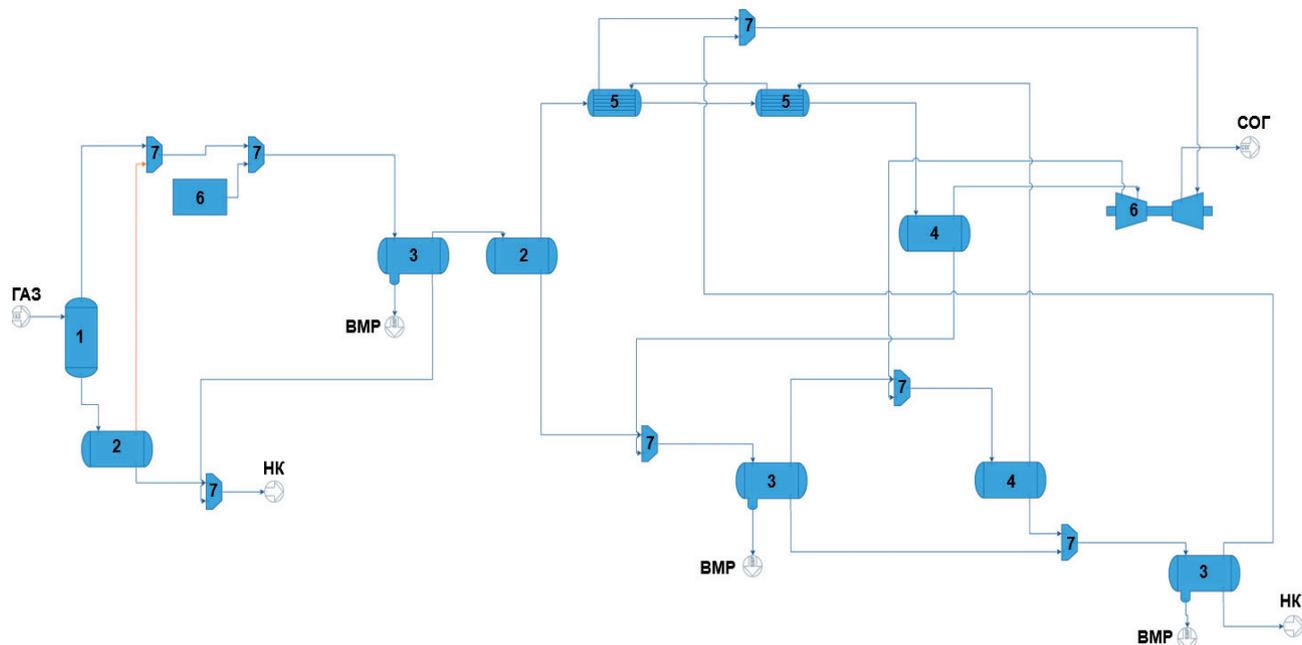
Работа программного прототипа проверена на объекте компании «Газпром нефть», расположенного на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. В качестве исходных данных использовались:

- сведения по компонентному составу смеси на входе по годам;
- свойства входного потока по годам;
- товарная корзина продуктов на выходе;
- требуемые свойства продуктов на выходе.

На основе входных данных и условий продуктовой корзины, которая в данном случае включает в себя сухой отбензиненный газ (СОГ) и нестабильный конденсат (НК), построена технологическая схема подготовки газа по автоматически выбранной технологии низкотемпературной сепарации с турбодетандером и получена следующая информация:

- технологическая схема с рассчитанными показателями в каждом узле;
- экспликация оборудования.

Результат построения технологической схемы с помощью программного прототипа показан на рисунке 8.



1 – сепаратор-пробкоуловитель, 2 – первичный сепаратор, 3 – трёхфазный сепаратор, 4 – низкотемпературный сепаратор, 5 – рекуперативный теплообменник, 6 – турбодетандер, 7 – миксер, ВМР – водометанольный раствор, ГАЗ - сырой газ из скважин на входе в УКПГ, СОГ - сухой отбензиненный газ, НК - нестабильный конденсат

Рисунок 8 – Фрагмент технологической схемы по подготовке газа

Газ из скважин поступает в сепаратор-пробкоуловитель (1), где происходит отделение жидкой фазы (пластовой воды и сконденсировавшегося углеводородного конденсата) и механических примесей. Жидкая фаза проходит через первичный сепаратор (2) и, смешиваясь с отделившейся жидкой фракцией в трёхфазном сепараторе (3), образует выход по НК. Предварительно очищенный газ поступает в рекуперативный теплообменник (5), где охлаждается встречным потоком газа. Для предотвращения гидратообразования вводят ингибитор (гликоль или метанол) с помощью блока дозирования реагента (6). После прохождения теплообменника (5) охлаждённый газ поступает на низкотемпературный сепаратор (4), затем на турбодетандер (6) с последующим снижением температуры потока за счёт детандирования, после чего чистый газ направляется в коллектор или магистральный газопровод. Жидкая фаза из низкотемпературного сепаратора поступает в трёхфазный сепаратор с отделением газа, водного раствора ингибитора и конденсата. Водный раствор ингибитора направляется на регенерацию, а конденсат – на последующую стабилизацию на установке стабилизации конденсата.

В таблице 2 приведён перечень объектов сгенерированной технологической схемы, включая модель, количество и стоимость по каждой позиции оборудования, в сравнении с проектными данными, полученными по результатам моделирования процесса подготовки газа и конденсата в программном обеспечении *Aspen HYSYS*¹.

Из таблицы 2 видно, что рассмотренные технологической схемы сопоставимы по позициям объектов в составе УКПГ, однако есть небольшие различия по количеству и стоимости оборудования, связанные с особенностями расчётных алгоритмов.

Таким образом, проверка работы программного прототипа показала высокую сходимость с результатами моделирования процесса подготовки газа в *Aspen HYSYS*.

¹ *Aspen Hysys* (или просто *Hysys*) — симулятор химических процессов, разработанный *Aspen Technology, Inc.* и используемый для математического моделирования таковых, от единичных реакций до полного цикла процессов на химических и нефтеперерабатывающих заводах.

Заключение

ИС ПКПМ включает онтологическую БЗ и программный прототип для построения технологических схем системы подготовки газа. ИС ПКПМ выполняет автоматическое конфигурирование системы подготовки газа, включая подбор состава и количества оборудования, построение взаимосвязанной цепочки объектов на основе требований и условий эксплуатации.

Таблица 2 – Сравнение оборудования в составе сгенерированной технологической схемы с проектными данными

| Наименование объекта | Данные программного прототипа | | | Данные по проекту | | |
|------------------------------------|--|-------------|---------------------|--|-------------|---------------------|
| | Модель | Кол-во, шт. | Стоимость, млн.руб. | Модель | Кол-во, шт. | Стоимость, млн.руб. |
| Сепаратор-пробкоуловитель | НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ) | 6 | 55.355 | НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ) | 6 | 55.355 |
| Сепаратор-первичный | НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ) | 13 | 23.322 | НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ) | 13 | 23.322 |
| Трехфазный сепаратор | НГСВ-I-2,5-3000 100 м3 | 1 | 12.832 | НГСВ-I-4,0-3000 100 м3 | 8 | 153.768 |
| | НГСВ-I-1,0-3000 100 м3 | 5 | 36.376 | | | |
| Низкотемпературный сепаратор | НГС-I-4,0-2400 50 м3 (газ) | 4 | 36.903 | НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ) | 13 | 23.322 |
| | НГС-I-2,5-1200 6,3 м3 (газ) | 20 | 35.880 | | | |
| Рекуперативный теплообменник | Теплообменник газ-конденсат 123,9 м2 | 10 | 85.931 | Теплообменник газ-конденсат 123,9 м2 | 14 | 120.304 |
| Турбодетандер | АДКГ-3,7 млрд.м3/год (12,9 МПа/10,4 МПа) | 4 | 359.859 | АДКГ-3,7 млрд.м3/год (12,9 МПа/10,4 МПа) | 3 | 292.394 |
| Суммарная стоимость УКПГ, млн.руб. | | | 646.461 | | | 668.466 |
| Отклонение по стоимости, млн.руб. | | | | | | 22.004 |
| Отклонение по стоимости, % | | | | | | 3.29 |

Применение ИС ПКПМ позволит снизить трудоёмкость проектных работ и ускорить сроки ввода объектов в эксплуатацию.

Тестирование ИС ПКПМ, проведённое на основе данных одного из газовых месторождений компании «Газпром Нефть», показало сходимость между фактической и построенной в прототипе технологическими схемами подготовки газа, что подтверждает пригодность алгоритмов расчёта параметров потока и оборудования.

Список источников

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 5 Edited by PMI. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.
- [2] *Omoregie U.* Megaprojects, Complexity, and Investment Decisions. Open Journal of Business and Management. 2016. Vol.4. P.219-224. DOI:10.4236/ojbm.2016.42023.
- [3] *Engen S., Falk K., Muller G.* The Need for Systems Awareness to Support Early-Phase Decision-Making — A Study from the Norwegian Energy Industry. Systems. 2021. Vol.9. P.47. DOI:10.3390/systems9030047.
- [4] *Gonzales J.* Cost-cutting as and innovation driver among suppliers during an industry Downturn. In Petroleum Industry Transformation: Lessons from Norway and Beyond; Thune, T., Engen, O.A., Wicken, O., Eds.; Routledge: Oxfordshire, UK. 2018. P.70–83. DOI:10.4324/9781315142456-5.
- [5] *Яковлев В.В., Хасанов М.М., Ситников А.Н., Прокофьев Д.О., Пустовских А.А., Маргарит А.С., Симонов М.В., Перец Д.С.* Направления развития когнитивных технологий в периметре Блока разведки и добы-

- чи компании «Газпром нефть». *Нефтяное хозяйство*. 2017. Том.12. С.6-9. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-6-9.
- [6] **Шушаков А.А., Билинчук А.В., Павлечко Н.М., Халиков Ф.Н., Сулейманов А.Г., Ситников А.Н., Слабецкий А.А., Тепляков Н.Ф., Саранулов Н.П., Шестаков Д.А., Мансафов Р.Ю.** «ЭРА:Добыча» – интегрированная платформа для повышения эффективности эксплуатации механизированного фонда скважин. *Нефтяное хозяйство*. 2017. Том.12. С.60–63. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-60-63.
- [7] **Хасанов М.М., Максимов Ю.В., Сударь О.О., Можчиля А.Ф., Старостенко Р.В., Вершинин С.А., Пашкевич Л.А., Третьяков С.В.** Ценностно-ориентированная инженерия в «Газпром нефти». *Нефтяное хозяйство*. 2019. Том.12. С.6-11. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-6-11.
- [8] **Abramov A.** Agile methodology of well pad development. *J Petrol Explor Prod Technol*. 2020. Vol.10. P.3483–3496. DOI:10.1007/s13202-020-00993-3.
- [9] **Abramov A.** Optimization of well pad design and drilling – well clustering. *Petroleum Exploration and Development*. 2019. Vol.46(3). P.614-620. DOI:10.1016/S1876-3804(19)60041-8.
- [10] **Miller W.** Future of Systems Engineering. INCSOE 2019 International Symposium. Torrance, US-CA, January 28, 2019.
- [11] **Madni A.** Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. *Insight*. 2020. Vol.23. P.31-36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [12] **Rouse W.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers, *Insight*. 2020. Vol.23. P.52-54. DOI:10.1002/inst.12286.
- [13] **Mabkhot M., Al-Samhan A., Hidri L.** An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. Vol.1. P.1-18. DOI:10.1155/2019/2505183.
- [14] **Glukhikh I., Glukhikh D.** Case based reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. In: Proceedings of the CEUR Workshop 2021. Germany. 2021. 10 p. <http://ceur-ws.org/Vol-2843/paper038.pdf>.

Сведения об авторах

Глухих Игорь Николаевич, 1965 г. рождения. Окончил Киевский институт инженеров гражданской авиации в 1989 г., д.т.н. (2001). Заведующий кафедрой информационных систем в ТюмГУ, научный руководитель Центра системного инжиниринга в Политехнической школе ТюмГУ. Научные интересы: вопросы разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений при инжиниринге и эксплуатации сложных технологических объектов. ORCID: 0000-0002-0683-6138; Author ID (РИНЦ): 132551; Author ID (Scopus): 14622542900; Researcher ID (WoS): ABC-6161-2021. i.n.glukhikh@utmn.ru.



Шевелев Тихон Геннадьевич, 1980 г. рождения. Окончил Новосибирский государственный университет в 2002 году. Директор по развитию функции «Инжиниринг. Реинжиниринг» в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: системная инженерия, технологию нефти и газа. ORCID: 0000-0002-9513-9093; Author ID (РИНЦ): 113213; Author ID (Scopus): 6507229047. shevelev.tg@gazpromneft-ntc.ru.



Панов Роман Алексеевич, 1978 г. рождения. Окончил Томский государственный архитектурно-строительный университет в 2000 году. Директор программ технологического развития в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: инжиниринг и проектирование объектов нефтегазодобывающего комплекса. Author ID (Scopus): 55650225700. panov.ra@gazprom-neft.ru.



Изотов Артем Михайлович, 1983 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет в 2006 году. Руководитель направления центра компетенций по системному инжинирингу в ООО «Газпромнефть НТЦ». Научные интересы: инжиниринг и проектирование объектов нефтегазодобывающего комплекса. ORCID: 0000-0001-9535-5784. izotov.am@gazpromneft-ntc.ru.



Писарев Михаил Олегович, 1982 г. рождения. Окончил Омский государственный университет в 2004 году. Директор Политехнической школы в ТюмГУ. Научные интересы: разработка нефтяных и газовых месторождений, системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли. ORCID: 0000-0003-0450-4735; Author ID (РИНЦ): 770379; Author ID (Scopus): 57163038100. m.o.pisarev@utmn.ru.



Лисс Дмитрий Александрович, 1980 г. рождения. Окончил Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (2003). Зам. директора по научно-исследовательской и инновационной работе в Политехнической школе ТюмГУ. Научные интересы: системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли, инженерия автономных систем, проектирование технологических схем. ORCID: 0000-0001-8933-5680. d.a.liss@utmn.ru.



Быков Виталий Станиславович, 1990 г. рождения. Окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет в 2013 году. Руководитель продукта в ООО «Цифровое проектирование». Научные интересы: нефтегазовый инжиниринг, автоматизация технологических процессов, системный инжиниринг, концептуальное проектирование, искусственный интеллект, нейронные сети. ORCID 0000-0003-3811-0443. bykov.v@numdes.com.



Абрамов Александр Викторович, 1978 г. рождения. Окончил Волгоградский государственный технический университет в 2003 г., PhD (2010). Ведущий аналитик в ООО «Цифровое проектирование». Научные интересы: водородная энергетика, вычислительная химия и материаловедение, геологическое хранение диоксида углерода, кустовое бурение, концептуальное проектирование. ORCID: 0000-0003-0630-2651. abramov.a@numdes.com.



Нониева Кристина Захаровна, 1995 г. рождения. Окончила ТюмГУ в 2019 году. Руководитель группы в Центре системного инжиниринга ТюмГУ, аспирант кафедры информационных систем ТюмГУ. Научные интересы: системный инжиниринг в нефтегазовой отрасли, разработка онтологических баз знаний, автопроектирование технологических схем. ORCID: 0000-0002-2999-2977; Author ID (РИНЦ): 1067816; Author ID (Scopus): 57202381062; k.z.nonieva@utmn.ru ✉

Поступила в редакцию 07.10.2022, после рецензирования 22.11.2022. Принята к публикации 28.11.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531

Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models

© 2022, I.N. Glukhikh¹, T.G. Shevelev², R.A. Panov², A.M. Izotov², M.O. Pisarev¹, D.A. Liss¹, V.S. Bykov³, A.V. Abramov³, K.Z. Nonieva¹ ✉

¹ University of Tyumen, Systems Engineering Center, Tyumen, Russia

² Gazprom Neft Science and Technology Center (Gazpromneft STC LLC), Saint-Petersburg, Russia

³ Digital design, LLC, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

The article presents a description of an intelligent system for supporting the conceptual design of fields, which includes an ontological knowledge base and a software prototype for automatically configuring a gas treatment system. The ontological knowledge base acts as a tool for preservation and reproduction of infrastructure solutions, which have shown effectiveness in the implementation of oil and gas projects. Model-layers of the ontology are described, including the following ontologies: partonomy, taxonomy, attributive ontology, ontology of processes, ontology of functions, ontology of requirements, ontology of computational models, ontology of equipment. Each ontology layer contains the necessary knowledge for configuring the gas treatment system, formalized using a variety of concepts and relationships between them. Relying on the ontological approach and the function-oriented ontology, a software prototype has been created to solve the following tasks: configuration to requirements, checking the fulfillment of requirements and identifying inconsistencies when changing configurations. The integration of knowledge engineering methods and rigorous mathematical algorithms in decision-making processes makes it possible to use both objective physical laws of oil and gas processes and less formalized information about objects and relations between them. Automatic generation of tech-

nological options based on multiple requirements is intended for use in the early stages of design and aims to speed up commissioning and reduce changes.

Key words: knowledge engineering, applied ontology, ontology of a gas treatment system, conceptual design of fields, automatic configuration of technological schemes, software prototype.

For citation: Glukhikh IN, Shevelev TG, Panov RA, Izotov AM, Pisarev MO, Liss DA, Bykov VS, Abramov AV, Nonieva KZ. Automatic configuration of the gas treatment system based on ontological models [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 518-531. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-518-531.

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

List of figures and tables

- Figure 1 - Composition of the ontology in solving the tasks of the IS SFCD
- Figure 2 - A Fragment of the partonomy ontological model as part of the description of the UKPG system
- Figure 3 - A Fragment of the taxonomy ontological model within the description of the UKPG system
- Figure 4 - A Fragment of the ontology of processes within the description of the UKPG system
- Figure 5 - A Fragment of the ontology of functions within the description of the UKPG system
- Figure 6 - Software prototype architecture
- Figure 7 - Stages of building a technological scheme
- Figure 8 - A Fragment of the process flow diagram for gas treatment
- Table 1 - The composition of the ontology in solving intellectual systems problems
- Table 2 - Comparison of equipment in the generated flow diagram with design data

References

- [1] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). 5 Edited by PMI. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2013.
- [2] **Omoregie U.** Megaprojects, Complexity, and Investment Decisions. *Open Journal of Business and Management*. 2016; 4: 219-224. DOI:10.4236/ojbm.2016.42023.
- [3] **Engen S, Falk K, Muller G.** The Need for Systems Awareness to Support Early-Phase Decision-Making—A Study from the Norwegian Energy Industry. *Systems*. 2021; 9: 47. DOI:10.3390/systems9030047.
- [4] **Gonzales J.** Cost-Cutting as and Innovation Driver Among Suppliers During an Industry Downturn. In *Petroleum Industry Transformation: Lessons from Norway and Beyond*; Thune, T., Engen, O.A., Wicken, O., Eds.; Routledge: Oxfordshire, UK. 2018. P.70–83. DOI:10.4324/9781315142456-5.
- [5] **Yakovlev V, Khasanov M, Sitnikov A, Prokofiev D, Pustovskikh A, Margarit A, Simonov M, Perets D.** The directions of cognitive technologies development in the Upstream Division of Gazprom Neft Company [Russian]. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry*. 2017; 12: 6-9. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-6-9.
- [6] **Shushakov A, Bilinchuk A, Pavlechko N, Khalikov F, Suleimanov A, Sitnikov A, Slabetsky A, Teplyakov N, Sarapulov N., Shestakov D, Mansafov R.** ERA: Production, an integrated platform for increasing the efficiency of the operation of the artificial lift and oil fields [Russian]. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry* 2017; 12: 60–63. DOI:10.24887/0028-2448-2017-12-60-63.
- [7] **Khasanov M, Maksimov Y, Sudar O, Mozhchil A, Starostenko R, Vershinin S, Pashkevich L, Tretiakov S.** Value-driven engineering in Gazprom Neft. *Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry* [In Russian]. 2019; 12: 6-11. DOI: 10.24887/0028-2448-2019-12-6-11.
- [8] **Abramov A.** Agile methodology of well pad development. *J Petrol Explor Prod Technol*. 2020; 10: 3483–3496. DOI:10.1007/s13202-020-00993-3.
- [9] **Abramov A.** Optimization of well pad design and drilling – well clustering. *Petroleum Exploration and Development*. 2019; 46(3): 614-620. DOI:10.1016/S1876-3804(19)60041-8.
- [10] **Miller W.** Future of Systems Engineering. INCSOE 2019 International Symposium. Torrance, US-CA, January 28, 2019.
- [11] **Madni A.** Exploiting Augmented Intelligence in Systems Engineering and Engineered Systems. *Insight*. 2020; 23: 31-36. DOI:10.1002/inst.12282.
- [12] **Rouse W.** AI as Systems Engineering Augmented Intelligence for Systems Engineers. *Insight*. 2020; 23: 52-54. DOI:10.1002/inst.12286.

- [13] **Mabkhot M, Al-Samhan A, Hidri L.** An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019; 1: 1-18. DOI:10.1155/2019/2505183.
- [14] **Glukhikh I, Glukhikh D.** Case based reasoning for managing urban infrastructure complex technological objects. In: *Proceedings of the CEUR Workshop 2021*. Germany.2021. 10 p. <http://ceur-ws.org/Vol-2843/paper038.pdf>.
-

About the authors

Igor Nikolaevich Glukhikh, born in 1965. Graduated from Kiev Institute of Civil Aviation Engineers in 1989, DrS (2001). Head of the Department of Information Systems at Tyumen State University, Scientific Leader of the Center for Systems Engineering at Polytechnic School of Tyumen State University. Scientific interests include development of intellectual support systems for decision making in engineering and operation of complex technological objects. ORCID: 0000-0002-0683-6138; Author ID (RSCI): 132551; Author ID (Scopus): 14622542900; Researcher ID (WoS): ABC-6161-2021. i.n.glukhikh@utmn.ru.

Tikhon Gennadyevich Shevelev, born in 1980. Graduated from Novosibirsk State University in 2002. Development Director Functions "Engineering. Reengineering" at OOO "Gazpromneft NTC". Scientific interests include systems engineering, oil and gas technology. ORCID: 0000-0002-9513-9093; Author ID (RSCI): 113213; Author ID (Scopus): 6507229047. shevelev.tg@gazpromneft-ntc.ru.

Roman Alexeyevich Panov, born in 1978. Graduated from Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering in 2000. Director of Technological Development Programs at Gazpromneft STC LLC. His scientific interests include engineering and design of oil and gas production facilities. Author ID (Scopus): 55650225700. panov.ra@gazprom-neft.ru.

Artem Mikhailovich Izotov, born in 1983. Graduated from St. Petersburg State Polytechnic University in 2006. Head of System Engineering Competence Center at Gazpromneft STC LLC. Area of expertise includes engineering and design of oil and gas production facilities. ORCID: 0000-0001-9535-5784. izotov.am@gazpromneft-ntc.ru.

Mikhail Olegovich Pisarev, born in 1982. Graduated from Omsk State University in 2004. Director of the Polytechnic School at Tyumen State University. Research interests include oil and gas field development and system engineering in the oil and gas industry. ORCID: 0000-0003-0450-4735; Author ID (RSCI): 770379; Author ID (Scopus): 57163038100. m.o.pisarev@utmn.ru.

Dmitry Alexandrovich Liss, born in 1980. Graduated from Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics in 2003. Deputy Director for Research and Innovation Work at Polytechnic School of Tyumen State University. His research interests include system engineering in the oil and gas industry, autonomous systems engineering, and process flow diagrams auto-design. ORCID: 0000-0001-8933-5680. d.a.liss@utmn.ru.

Vitaly Stanislavovich Bykov, born in 1990. Graduated from St. Petersburg State Polytechnic University in 2013. Product Manager at Digital Design LLC. Research interests include oil and gas engineering, process automation, systems engineering, conceptual design, artificial intelligence, and neural networks. ORCID 0000-0003-3811-0443. bykov.v@numdes.com.

Alexander Viktorovich Abramov, born in 1978. Graduated from Volgograd State Technical University in 2003, PhD (2010). Leading analyst at Digital Engineering Ltd. Research interests include hydrogen energy, computational chemistry and materials science, geological storage of carbon dioxide, cluster drilling, and conceptual design. abramov.a@numdes.com.

Kristina Zakharovna Nonieva, born in 1995. Graduated from Tyumen State University in 2019. Team lead in the Center for Systems Engineering of Tyumen State University, postgraduate student of the Information Systems Department of Tyumen State University. Research interests include system engineering in oil and gas industry, development of ontological knowledge bases, and auto-design of technological schemes. ORCID: 0000-0002-2999-2977; Author ID (RSCI): 1067816; Author ID (Scopus): 57202381062. k.z.nonieva@utmn.ru ✉

Received October 7, 2022. Revised November 22, 2022. Accepted November 28, 2022.
