

УДК 519.816

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ю.А. Загорулько (*zagor@iis.nsk.su*), Г.Б. Загорулько  
(*gal@iis.nsk.su*), А.Ю. Кравченко (*wcleric@yandex.ru*),  
Е.А. Сидорова (*lena@iis.nsk.su*)

*Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,  
Новосибирск*

Ключевые слова и выражения: система поддержки принятия решений, онтология задач, онтология предметной области, решатель, модуль поддержки принятия решений, мониторинг нефтегазодобывающего предприятия, анализ, оптимизация.

В докладе рассматривается подход к разработке системы поддержки принятия решений, обеспечивающей снижение энергозатрат на нефтегазодобывающем предприятии и повышение экологической безопасности процесса добычи углеводородов. Обсуждаются архитектура и принципы функционирования такой системы, а также классы решаемых ею задач. Благодаря включению в состав СПП онтологии обеспечивается ее настройка на предметную область и типы решаемых задач.

### Введение

В России очень остро стоит проблема повышения энергоэффективности и экологической безопасности нефтегазодобывающих предприятий (НГДП). В настоящее время на таких предприятиях используется достаточно большое количество АСУ ТП [Байков, 2003], но, как правило, они установлены на локальных объектах и обслуживают только основной производственный процесс, а именно – добычу углеводородного сырья, не затрагивая при этом, например, транспортное обслуживание и проведение плановых и экстренных ремонтов. К тому же эти системы, действуя локально, обеспечивают управление и мониторинг только отдельно взятого объекта или процесса, в то время как для принятия эффективных решений требуется иметь интегральную информацию обо всех объектах и процессах

технологической инфраструктуры НГДП. В связи с этим такие системы не могут обеспечить ЛПР (лицо, принимающее решение) необходимой информацией обо всех процессах, влияющих на эффективность и экологическую безопасность работы предприятия.

Для снижения энергетических затрат нефтегазодобывающего предприятия и повышения экологической безопасности его работы необходима система оперативного мониторинга технологической инфраструктуры (СОМТИ). Важным компонентом такой системы является подсистема, обеспечивающая поддержку принятия решений для ЛПР. Такая система поддержки принятия решений (СППР) должна на основе анализа статической и динамической информации об объектах технологической инфраструктуры предприятия (далее просто – об объектах) вырабатывать для ЛПР рекомендации по предотвращению аварийных ситуаций на НГДП, улучшению показателей его работы, о проведении планового технического обслуживания и/или экстренного ремонта объектов, о списании объектов и замене их новыми, об оптимизации потоков технологического транспорта и пр.

Технологическая инфраструктура предприятия может быть подвержена как структурным, так и качественным изменениям. Например, на предприятии могут появиться новые виды оборудования. Также может возникнуть потребность в решении новых задач. Поэтому система оперативного мониторинга технологической инфраструктуры предприятия в целом и СППР в частности, должна быть настраиваема на предметную область (ПО) и типы задач. В связи с этим СППР проектируется таким образом, что в ее состав в явном виде входит модель ПО, представленная онтологией, а ее архитектура допускает подключение дополнительных модулей, обеспечивающих поддержку принятия решений новых задач.

## **1. Архитектура СППР СОМТИ**

СППР при выработке решений и рекомендаций для ЛПР использует информацию из центрального хранилища данных СОМТИ (ЦХД СОМТИ), в котором представлены данные о структуре и состоянии технологической инфраструктуры предприятия (Рис.1). В связи с этим СППР реализуется в виде двух взаимодействующих модулей – адаптера СППР, обеспечивающего получение задач от подсистемы управления (ПУ) СОМТИ и обмен данных с ЦХД СОМТИ, и супервизора, организующего работу решателей, обеспечивающих в СППР решение определенных классов задач.

Решение конкретных задач СОМТИ реализуется отдельными модулями поддержки принятия решений, за исполнение (интерпретацию) которых отвечает один из решателей.

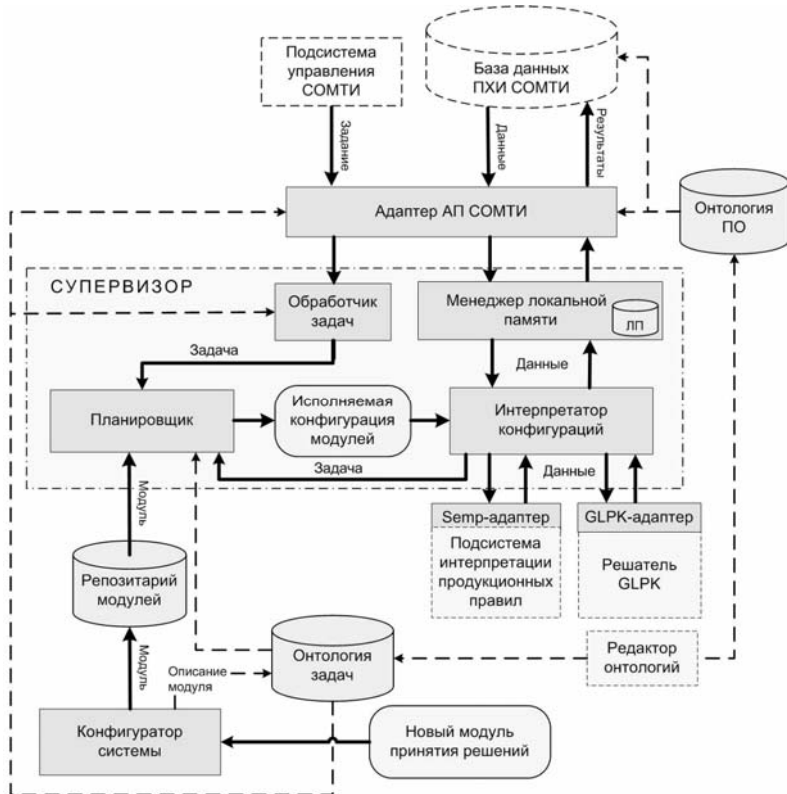


Рис. 1. Архитектура СППР СОМТИ

В СППР СОМТИ используется два решателя: Semp – интерпретатор продукционных правил системы Semp-ТАО [Загоруйко и др., 1996а; Загоруйко и др., 1996б] и GLPK – решатель задач целочисленного линейного программирования (ЦЛП) [GLPK, 2010]. Каждый решатель имеет свой формат входных и выходных данных, поэтому для каждого из них разработан адаптер для обмена данными между ним и локальной памятью СППР (Semp-адаптер и GLPK-адаптер).

Для того чтобы упростить и унифицировать обмен информацией между разнородными компонентами и модулями СППР (адаптерами, супервизором, решателями, модулями поддержки принятия решений и др.), а также ЦХД СОМТИ, разработан формат представления данных в виде объектов (экземпляров понятий) онтологии [Guarino, 1998], описывающей предметную и проблемную область системы.

Дополнительно СППР СОМТИ включает ряд вспомогательных инструментальных средств (редактор онтологий, конфигуратор системы), обеспечивающих настройку, конфигурирование и управление системой.

## 2. Представление знаний в СППР СОМТИ

Онтология системы состоит из двух взаимосвязанных онтологий – онтологии предметной области и онтологии задач [Guarino, 1998].

**Онтология ПО** описывает модель предметной области в виде понятий и отношений между ними (см. Рис.2). Базовыми понятиями (классами) онтологии ПО являются: *Объект*, *Нормативно-справочный объект*, *Состояние*, *Результат*.

В классе *Объект* выделяются подклассы *Оборудование* (насосные установки, трансформаторы, трубопроводы и т.п.), *Подвижные объекты* (автоцистерны, грузовики, автобусы и другие виды автотранспорта) и *Дорожная сеть*. Объекты могут находиться в том или ином состоянии, для описания которого вводится класс *Состояние*. В свою очередь класс *Состояние* имеет следующие подклассы: *Неисправность*, *Поломка*, *Штатное состояние*, *Предварительное состояние* и др.

Важное место в онтологии ПО занимает описание топологии технологической инфраструктуры предприятия. Взаимное расположение и связность объектов технологической инфраструктуры задается отношениями «Содержит», «Входит», «Выходит».

Для контроля соответствия параметров объектов анализа нормативным значениям используется нормативно-справочная информация: для каждого понятия, представляющего некоторый вид оборудования или контейнера оборудования, заводится специальное понятие, которое мы будем называть нормативно-справочное или *НС-понятие*. Это *НС-понятие* имеет тот же набор атрибутов, что и оригинальное (исходное) понятие, но числовые значения его атрибутов задаются парой чисел, которые определяют интервал изменения атрибута данного понятия согласно нормативу (техпаспорту).

Каждый объект технологической инфраструктуры имеет свой *График ремонтов*, в котором собрана информация о плановых, текущих и срочных ремонтах данного объекта.

Результатами работы СППР являются *Диагнозы* состояния оборудования и подвижных объектов, *Рекомендации* для ЛПП, *Прогнозы* изменения состояния объектов, решения транспортных задач (*Маршруты движения автотранспорта*), скорректированные *Графики ремонтов* и т.п. Отдельным результатом может быть порожденная исполняемым модулем поддержки принятия решений *Задача*, в которой, например, более детально анализируется тот или иной объект.

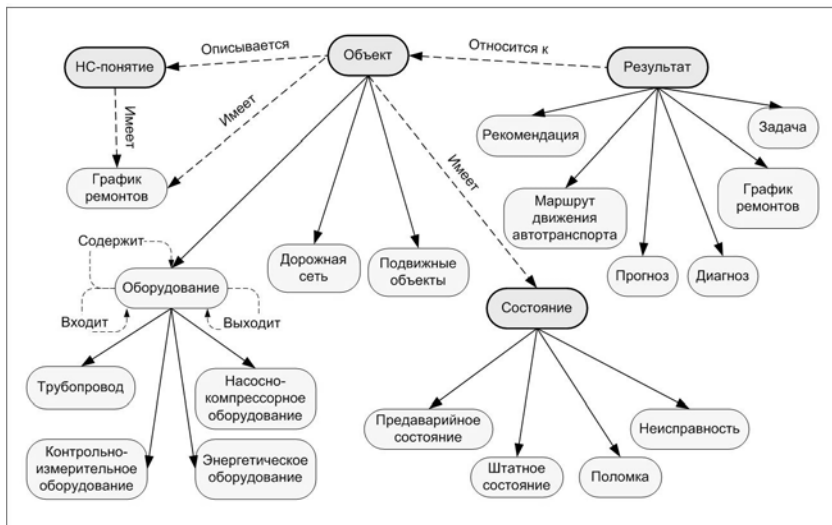


Рис. 2. Онтология предметной области СППР СОМТИ

**Онтология задач** включает описания решаемых системой задач и модулей поддержки принятия решений, реализующих решения этих задач.

Для описания задачи вводится понятие (класс) *Задача*, имеющий атрибуты «Имя задачи» и «Параметры задачи».

Последний атрибут представляет собой множество пар вида  $\langle Csd, Lo \rangle$ , где *Csd* – класс онтологии ПО, *Lo* – список имен объектов класса *Csd*, для которых должна быть решена данная задача. Если *Lo* – не задано (пусто), то считается, что задача решается для всех объектов класса *Csd*.

Для представления модуля поддержки принятия решений в онтологии задач вводится класс *Модуль*, имеющий атрибут «Имя модуля».

На задачах определены отношения «Подзадача» и «Порождает». Первое отношение связывает некоторую задачу с другими задачами (ее подзадачами), решение которых требуется для решения данной задачи. Отношение «Порождает» определяет потенциальную возможность порождения одной задачи другой. Вводится также отношение «Реализует», связывающее модуль принятий решений с задачей, решение которой он обеспечивает.

Все модули поддержки принятия решений хранятся в репозитории и снабжены следующими атрибутами: «Имя модуля», «Входные данные», «Выходные данные», «Решатель».

Атрибут «Входные данные» определяет множество типов (классов) объектов, необходимых для функционирования модуля. Значение атрибута имеет вид  $\langle Cin, Rin, Ain \rangle$ , где *Cin* – множество классов

онтологии ПО,  $Rin$  – множество отношений онтологии ПО, заданных на классах  $Cin$ ,  $Ain$  – множество ограничений на значения атрибутов объектов классов из  $Cin$ . Ограничения  $Ain$  служит для фильтрации объектов, для которых необходимо решить задачу. Если модуль реализует задачу, у которой есть параметры, то параметры задачи добавляются к множеству ограничений  $Ain$ .

Атрибут «Выходные данные» определяет множество классов, объекты которых могут быть созданы модулем в качестве результатов его работы.

Атрибут «Решатель» задает имя программной системы, которая будет исполнять данный модуль поддержки принятия решений.

При необходимости набор модулей поддержки принятия решений может быть расширен с помощью конфигулятора системы, который позволяет регистрировать новые модули и включать их в репозиторий модулей и онтологию задач.

#### **4. Принципы функционирования СППР СОМТИ**

Супервизор выполняет обработку полученных заданий, подготовку входных данных для решателей, сбор и отправку в ЦХД СОМТИ результатов вычислений. В связи с этим он состоит из следующих модулей: обработчика задач, планировщика, интерпретатора конфигураций, менеджера локальной памяти (см. Рис.1).

Основной цикл работы СППР СОМТИ состоит в последовательном выполнении заданий, поступающих от подсистемы управления СОМТИ.

Каждое задание содержит описание некоторой задачи, известной СППР. (Задача считается известной СППР, если ее описание представлено в онтологии задач.) Задание поступает на вход адаптера СППР, который проверяет описанную в нем задачу на соответствие онтологии задач, преобразует ее в формат, понятный супервизору, и передает ему на дальнейшую обработку.

Обработчик задач, являющийся частью супервизора, анализирует поступившее описание задачи, представляет его в формате, заданном онтологией задач, и передает планировщику.

Планировщик для каждой поступившей на его вход задачи порождает исполняемую конфигурацию реализующих ее модулей. При этом он обращается к онтологии задач, чтобы узнать имя реализующего обрабатываемую задачу модуля принятия решений (в общем случае – группы модулей). Затем планировщик извлекает из репозитория модулей описание этого модуля и помещает в конфигурацию модулей.

Работа интерпретатора конфигураций состоит в выборе из конфигурации модулей описания очередного модуля, загрузке необходимых для его работы данных из ЦХД (через адаптер СППР) в локальную память (ЛП), вызове соответствующего решателя с

одновременной передачей ему данных из ЛП и выбранного модуля, выгрузке результатов работы модуля в локальную память и передаче их в ЦХД. При этом обмен данными решателей с ЛП осуществляется через адаптеры (Semp-адаптер или GLPK-адаптер).

После отработки очередного модуля супервизор осуществляет мониторинг ЛП и при обнаружении в ней объектов класса *Задача* формирует задание из этих задач и вызывает планировщик. (Необходимо сказать, что любой модуль поддержки принятия решений может «породить» новую задачу, которая представляется экземпляром класса *Задача* онтологии задач.)

После окончания работы планировщика, который может дополнить конфигурацию новыми описаниями модулей, вызывается интерпретатор конфигураций, который продолжает работу уже над модифицированной конфигурацией модулей.

После того как все задачи, поступившие на вход супервизора, а также все задачи, порожденные первыми, решены, супервизор прекращает свою работу и переходит в состояние ожидания новых задач.

## 5. Типы решаемых задач

СППР осуществляет поддержку решения задач двух типов: оптимизационных и аналитических.

В рамках разрабатываемой СОМТИ решаются две оптимизационные задачи: построение оптимальных маршрутов движения автотранспорта, осуществляющего перевозку нефти от отдаленных скважин к центральному пункту сбора, и оптимизация графика ремонтов оборудования НГДП. Поддержка решения этих задач осуществляется средствами решателя GLPK.

Наиболее широко в СОМТИ представлен класс аналитических задач. Перечислим наиболее важные из них:

- Общий мониторинг основных показателей работы НГДП.
- Мониторинг отдельного куста скважин.
- Диагностика различных типов оборудования.
- Принятие решений при обнаружении порывов трубопровода.
- Принятие решений при аварии или угрозе аварии на трансформаторной подстанции.
- Поиск причин и принятие решений при нарушении соотношения дебита куста и объема закачанной в пласт жидкости.
- Анализ устоявшегося либо нового режима и выработка рекомендаций по установлению нового (безопасного/оптимального) режима работы куста скважин.
- Принятие решений при обнаружении небаланса газожидкостной смеси или электроэнергии.

Практически, во всех аналитических задачах используется понятие тренда. Под трендом понимается тенденция изменения некоторого параметра анализируемого объекта НГДП, представленного числовым показателем. В качестве такого параметра могут выступать, например, КПД насоса, расход электроэнергии на дожимной насосной станции, мощность трансформатора и т.п. Тренд параметра вычисляется по соответствующему ему временному ряду в виде одного из лингвистических значений: *резко падает, падает, слабо падает, стабильно, колеблется в пределах нормы, слабо растет, растет, резко растет*. Временные ряды параметров являются входными данными решаемой задачи. По временному ряду можно также определять наличие и момент всплесков и падений значений, выполнять экстраполяцию, получать прогноз о моменте выхода рассматриваемого параметра за некоторое пороговое значение.

Взаимные зависимости трендов показателей и состояний анализируемых объектов задаются с помощью продукционных правил, определяемых экспертами. Например, если для какого-либо насоса возрастает потребление электроэнергии при одновременном снижении КПД и подачи, и эти показатели, оставаясь в нормативных рамках, приближаются к их границам, то с определенной долей уверенности можно прогнозировать, что этот насос скоро выйдет из строя. При возникновении такой ситуации СППР выдаст соответствующее сообщение ЛППР и запустит задачу детальной диагностики данного насоса.

На основе анализа трендов может быть принято решение о необходимости запуска (пересчета) оптимизационных задач. Так, если выяснится, что дебит одной из добывающих скважин, забор нефти от которой осуществляется автотранспортом, упал более чем на 20%, может быть принято решение о пересчете задачи оптимизации маршрутов движения автотранспорта.

Для решения аналитических задач используются модули поддержки принятия решений, реализованные в парадигме продукционной модели с использованием онтологии предметной области. При этом онтология ПО, продукционные правила, библиотека функций для работы с временными рядами задаются средствами языка системы Semp-ТАО. Для исполнения модулей используется интерпретатор Semp-ТАО.

## **Заключение**

В докладе предложены принципы построения и функционирования системы, обеспечивающей поддержку принятия решений с целью снижения энергозатрат на нефтегазодобывающем предприятии и повышения эффективности и экологической безопасности процесса добычи углеводородов. Ввиду того, что технологическая инфраструктура



предприятия может быть подвержена как структурным, так и качественным изменениям, поддерживается настройка системы на предметную область и типы решаемых задач. Для этого в состав СППР в явном виде включена модель предметной и проблемной области, представленная онтологией, а ее архитектура допускает подключение дополнительных модулей, обеспечивающих поддержку принятия решений при решении новых задач.

На данный момент реализована экспериментальная версия системы, обеспечивающая поддержку принятия решений задач, описанных в разделе 5. Успешная реализация экспериментальной СППР показала плодотворность предложенного подхода к построению СППР на основе онтологий.

В настоящее время ведется работа по подключению к системе новых модулей поддержки принятия решений. Рассматривается возможность подключения к СППР нового решателя UniCalc [Нариньяни, 1996], который предполагается использовать для решения оптимизационных задач вместо или вместе с решателем GLPK.

**Благодарности.** Работа выполняется в рамках Государственного контракта № 02.514.11.4126 от 30.09.2009 г. с Федеральным агентством по науке и инновациям РФ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы.

### Список литературы

- [Байков, 2003] Байков И.Р., Самородов Е.А., Ахмадуллин К.Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003.
- [Загорulyко и др., 1996a] Загорulyко Ю.А., Попов И.Г. Применение объектно-ориентированного подхода для интеграции средств представления знаний // 5-я национальная с международным участием конференция по искусственному интеллекту: Сборник научных трудов. – Казань, 1996. –Т.2.
- [Загорulyко и др., 1996b] Загорulyко Ю.А., Попов И.Г. Представление знаний в интегрированной технологической среде Semp-ТАО // Проблемы представления и обработки не полностью определенных знаний / под ред. И.Е. Швецова. – М.-Новосибирск, 1996.
- [GLPK, 2010] GLPK (GNU Linear Programming Kit). – <http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>
- [Guarino, 1998] Guarino N. Formal Ontology in Information Systems // Proc. of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. – Amsterdam: IOS Press, 1998.
- [Нариньяни, 1996] Нариньяни А.С., Семенов А.Л., Телерман В.В., Швецов И.Е., Яхно Т.М. Недоопределенные модели и их приложения // Системная информатика. Вып. 5: Архитектурные, формальные и программные модели / под ред. И.В. Поттосина. – Новосибирск: Наука, 1996.