



# РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Ю.А. Загорулько, Г.Б. Загорулько,  
А.Ю. Кравченко, Е.А. Сидорова**

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



## Введение



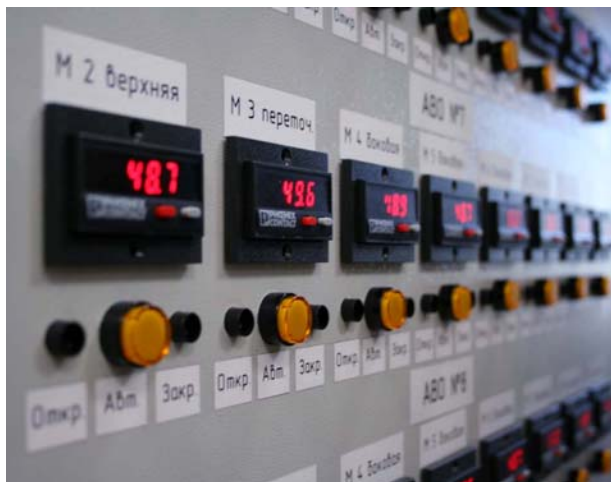
- Для современных НГДП характерен высокий уровень автоматизации, на них широко используются информационные технологии, в частности различные АСУ ТП.

- В России очень остро стоит **проблема повышения энергоэффективности и экологической безопасности** нефтегазодобывающих предприятий (НГДП).





## Введение



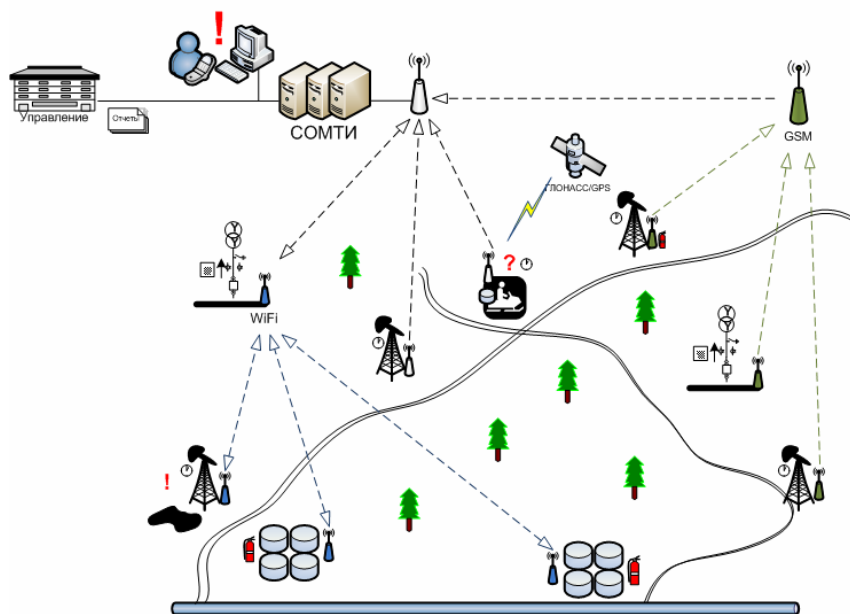
- Однако, эти АСУ ТП установлены на локальных объектах и **обслуживают только основной производственный процесс** – добычу углеводородного сырья, не затрагивая при этом, например, транспортное обслуживание и проведение плановых и экстренных ремонтов.
- К тому же эти системы, **действуя локально**, обеспечивают **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 добывающего предприятия.





## Введение

- 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 его технологической инфраструктуры (СОМТИ)**.



## Введение

Важным компонентом такой системы является подсистема, обеспечивающая поддержку принятия решений для ЛПР. Такая **система поддержки принятия решений (СППР)** должна анализировать состояние объектов технологической инфраструктуры НГДП и решать следующие **задачи**:

- выработка рекомендаций по улучшению показателей работы объектов и предотвращению аварийных ситуаций.
- выработка рекомендаций для ЛПР о необходимости проведения планового технического обслуживания и/или экстренного ремонта объектов, а также о списании объектов и замене их новыми.
- выработка рекомендаций для ЛПР об оптимизации потоков технологического транспорта и графика ремонтов объектов.



В данном докладе рассматриваются архитектура, принципы построения и функционирования СППР системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры НГДП, а также классы решаемых ею задач.

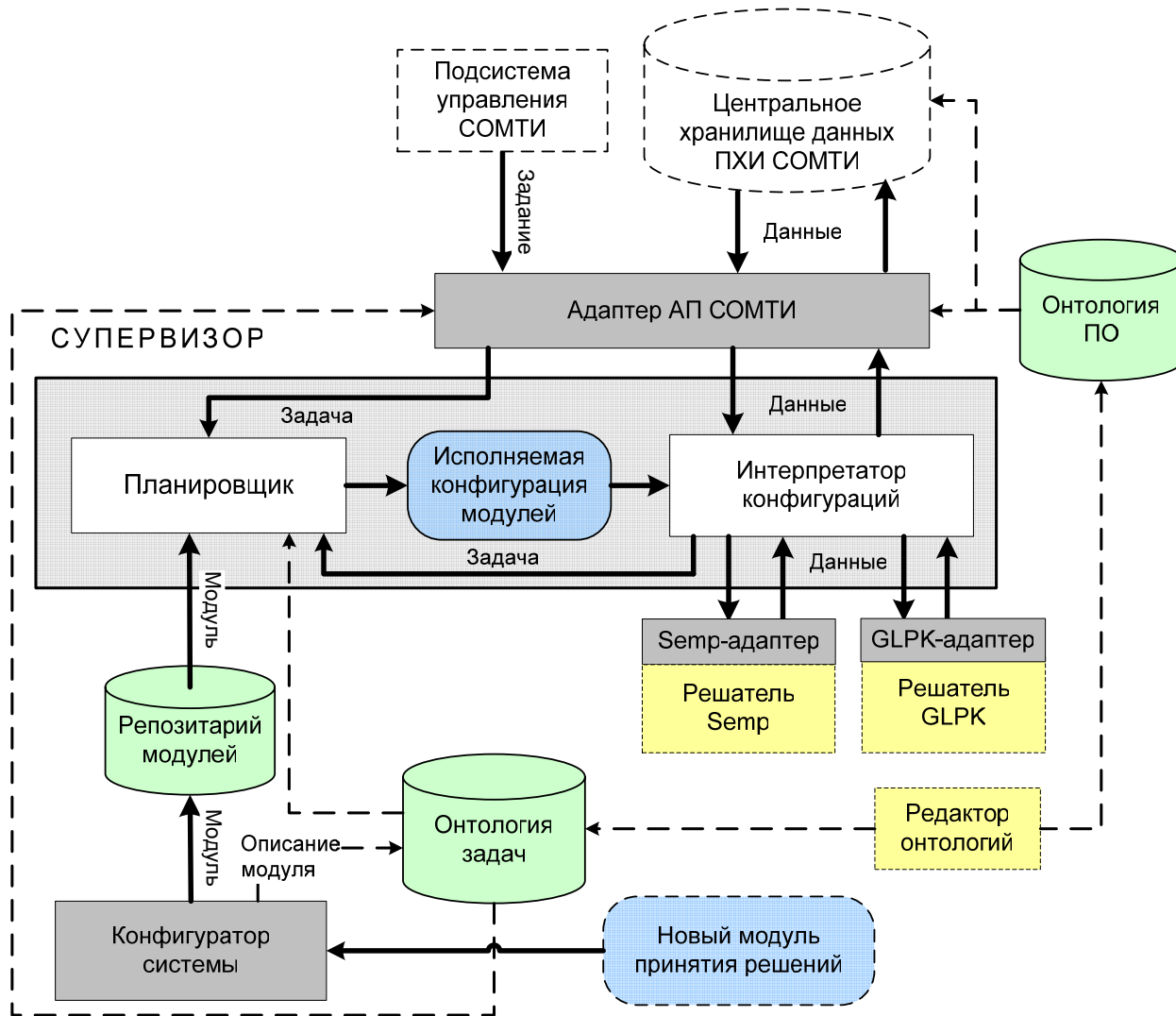
## Особенности рассматриваемого подхода:

Вся СОМТИ в целом и **СППР**, в частности, должна быть настраиваема на предметную область (ПО) и типы задач.

Для обеспечения этого в состав СППР в явном виде входят **онтологии ПО и решаемых задач**, а ее архитектура допускает подключение дополнительных модулей, обеспечивающих поддержку принятия решений новых задач.



# Архитектура СППР





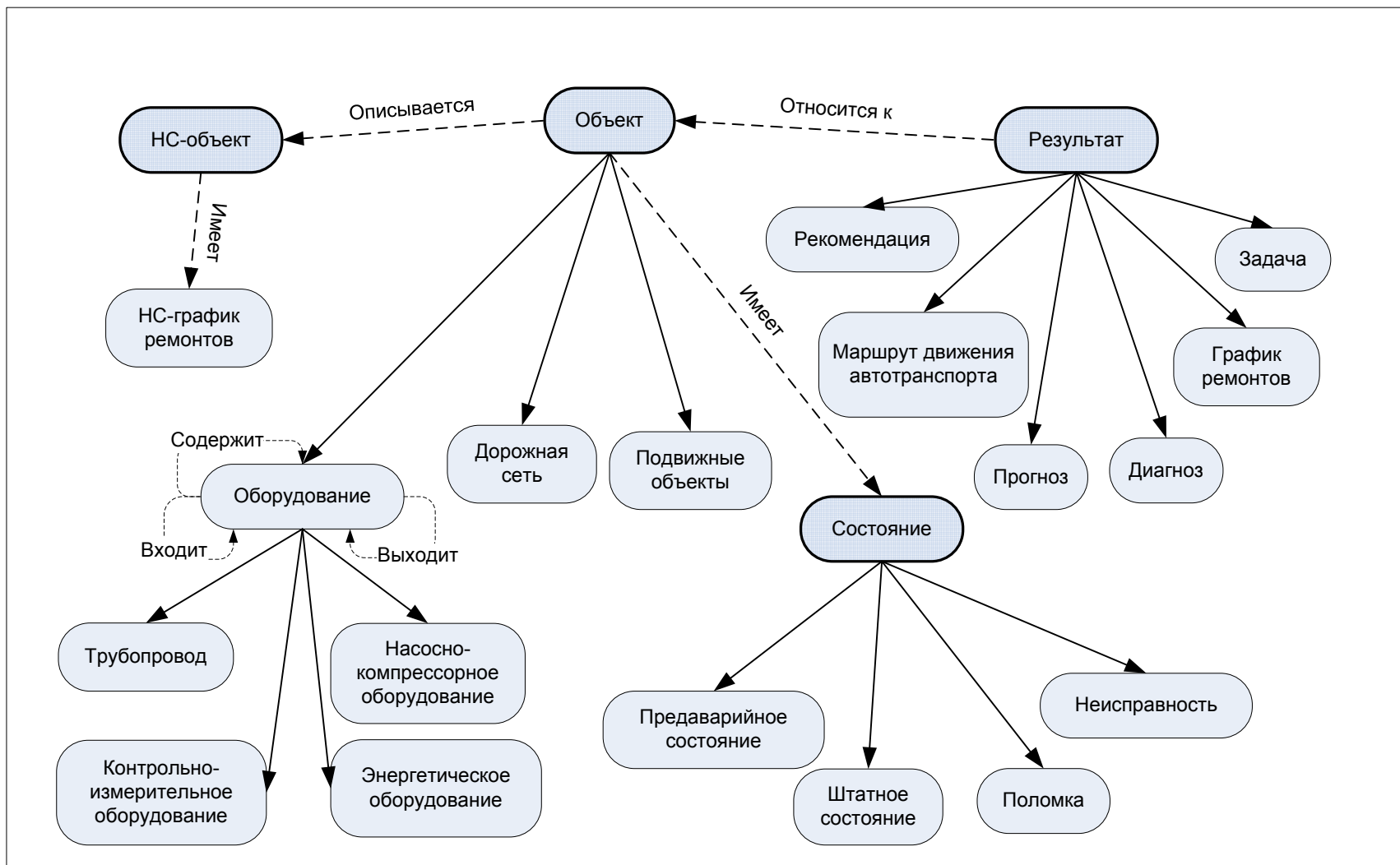
Для того, чтобы упростить и унифицировать обмен информацией между разнородными компонентами и модулями СППР, а также ЦХД СОМТИ, разработан **формат представления данных в виде объектов** (экземпляров понятий) **онтологии**, описывающей предметную и проблемную область системы.

При этом онтология системы состоит из двух взаимосвязанных онтологий – **онтологии предметной области** и **онтологии задач**.





# Онтология предметной области

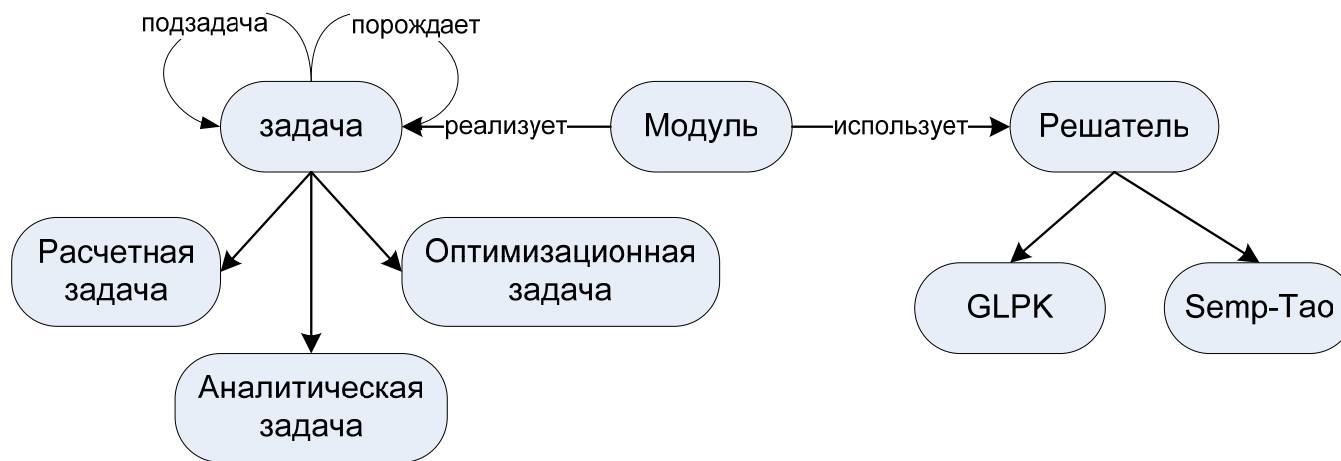




## Онтология задач

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

Базовыми классами онтологии являются *Задача*, *Модуль* и *Решатель*.





## Онтология задач

### Задача

**имя:** строка;

**параметры:**  $\{ \langle C_1[, O_1, \dots, O_{n1}] \rangle, \dots, \langle C_k[, O_k, \dots, O_{nk}] \rangle \};$

Где  $C_i$  – классы онтологии ПО, а  $O_{ij}$  – объекты этого класса

### Модуль

**имя:** строка;

**входные данные:**  $\langle C_{in}, R_{in}, A_{in} \rangle;$

**выходные данные:**  $\{ C_{out1}, \dots, C_{outk} \};$

где  $C_{in}$  – множество классов,  $R_{in}$  – множество отношений, заданных на классах  $C_{in}$ ,  $A_{in}$  – множество ограничений на значения атрибутов объектов классов из  $C_{in}$ .  
 $C_{outi}$  – классы онтологии, объекты которых могут быть созданы модулем в качестве результатов его работы.



Все модули поддержки принятия решений хранятся в репозитории модулей и для каждого из них определены типы входных и выходных данных, а также используемый решатель.

Описание входных данных задает типы (классы) объектов, необходимых для функционирования модуля.

Описание выходных данных определяет множество классов, объекты которых могут быть сгенерированы в ходе работы модуля.

С каждым модулем сопоставляется решатель, т.е. программная система, которая будет его исполнять (интерпретировать).



В СППР СОМТИ решаются задачи трех типов: расчетные, оптимизационные и аналитические.

К **расчетным** относятся задачи определения баланса газожидкостной смеси (ГЖС) или расхода электроэнергии (ЭЭ) на различных участках НГДП, вычисления потерь ЭЭ линий электропередачи или силового трансформатора и т.п.

Расчетные задачи в некоторых случаях служат для определения нештатных ситуаций, в других случаях являются вспомогательными для аналитических задач.



В рамках разрабатываемой СОМТИ решаются две **оптимизационные** задачи:

- построение оптимальных маршрутов движения автотранспорта, осуществляющего перевозку нефти от отдаленных скважин к центральному пункту сбора,
- оптимизация графика ремонтов оборудования НГДП.

Поддержка решения этих задач осуществляется средствами решателя GLPK, в котором модель решения задачи, входные данные и результаты решения представляются на специальном языке GMPL (GNU MathProg Language), который позволяет описывать задачу в естественной математической нотации, включающей параметрические уравнения и неравенства и т. п., что значительно упрощает построение вычислительных моделей экспертами.



## Наиболее широко представлен класс аналитических задач:

- Общий мониторинг основных показателей работы НГДП.
- Мониторинг отдельного куста скважин.
- Диагностика 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 ГЖС и электроэнергии.



# Поддержка принятия решений в СППР СОМТИ







В 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.

Когда на вход задаче подается **временной ряд** некоторого показателя, специальная функция по временному ряду определяет тренд в виде одного из **лингвистических значений**: *резко падает, падает, слабо падает, стабильно, колеблется в пределах нормы, слабо растет, растет, резко растет*.

По временному ряду могут определяться также наличие и момент всплесков и падений значений показателя.



Взаимная зависимость трендов показателей и состояния оборудования задается с помощью правил на основании экспертных знаний.

Например, если для какого-либо насоса возрастает потребление электроэнергии при одновременном снижении КПД и дебита, и значение КПД приближается к нижней нормативной границе, то с определенной долей уверенности можно прогнозировать, что этот насос скоро выйдет из строя.

При возникновении такой ситуации СППР выдаст соответствующее сообщение ЛПР и запустит задачу детальной диагностики данного насоса.



$\forall ns$ : НС\_Насосная\_установка( kpd\_min);

n: Насосная\_установка(Q, N, kpd);

Описывается(n, ns),

Тенденция(n.Q) = “падает” & Тенденция(n.kpd) = “падает”

& Тенденция(n.N) = “растет”

=>

**создать** Задача (имя: “Диагностика\_НУ”,

параметры: {<Насосная\_установка, n>});

kd := Критический\_момент ( n.kpd, ns.kpd\_min);

**создать** Прогноз(текст: “кпд выйдет на критический  
уровень через”+kd +“часов”,

параметры: {<Насосная\_установка, n>});



Для решения аналитических задач используются модули поддержки принятия решений, реализованные в парадигме продукционной модели.

Для их спецификации используется язык и редактор системы Semp-ТАО с использованием библиотеки функций для работы с временными рядами, а для исполнения модулей – интерпретатор этой системы.



# Поддержка принятия решений в СППР СОМТИ

```
Visual Semp - [D:\Users\Gal\Projects_КТИ_БТ\Semp_Moduls\new\Experiments\Global_Ontology.pm*]
File Edit View Project Settings Window Help

Global_Ontology.pm* WellFlowRateTrendAnalysis_Rules.pm

Project Manager
WellFlowRateTrendAnalysis
  Global_Functions.pm
  Global_Ontology.pm
  WellFlowRateTrendAnalysis_CreateData.pm
  WellFlowRateTrendAnalysis_Launcher.pm
  WellFlowRateTrendAnalysis_Rules.pm

//=====
// Онтология предметной области "Нефтегазодобыча"
// Описание классов и отношений
//=====
uses CATNemNumbers, CATSempTypes, CATSempContainers;
//=====

//Класс-предок всех объектов
class BaseObject
  name : string; //Имя объекта
  state : tuple of int; //Статус объекта: 0-не работает, 1-работает
end;

//Класс-предок для всех неполадок объектов
class Fault
  name : string;
end;

//Последовательность объектов
type tuple_of_Object = tuple of BaseObject;

//Справочные данные по нефтегазодобывающему управлению (НГДУ или ОАГА)
class ReferenceData_OAGA
  fd : real; // допустимое падение дебита куста
  errkrdmax : real; //Максимально допустимое отклонение кпд от номинала
end;

//Нефтегазодобывающее управление: Oil and gas administration (НГДУ или ОАГА)
class OilandGasAdministration (BaseObject)
  Q : tuple of real; //Суммарный дебит,
  R : tuple of real; //Суммарный расход ЭЭ
  con : tuple_of_Object; //Список объектов, включенных в НГДУ,
  reference : ReferenceData_OAGA; //Справочные данные по НГДУ
end;

class ReferenceData_TransformerSubstation (BaseObject)
  Nmax : real;
  Nmin : real;
end;

//Кустовая трансформаторная подстанция (cluster transformer substation)
class TransformerSubstation (BaseObject)
  I : tuple of real; //Сила тока (Current strength?)
  U : real; //Напряжение (Voltage?)
  N : tuple of real; //Мощность
  ns : ReferenceData_TransformerSubstation;
  connected : tuple_of_Object; //Список подключаемых объектов
end;
```



```
//=====
rule Прогноз дебита куста
forall w1: Well(); AnalysedObject(Obj: w1)
=>
var tenQ, tenmd, kd, res: int; //тенденции дебита и изменения дебита
var md : tuple of real; //врем. ряд изменения дебита
var am,d,c : real;

am:=arithmetic_mean(w1.Q);

tenQ := tendency(w1.Q, min_el(w1.Q), max_el(w1.Q));
md:=difference(w1.Q);
d:=arithmetic_mean(md);
tenmd := tendency( md, min_el(md), max_el(md) );
if (tenQ<=3)
then
// WriteLn("tenmd ",tenmd, " на скважине ", w1.name, " $$$", IsPositive(md));
if (tenmd >= 10 )
then
WriteLn("На скважине ",w1.name," зафиксировано увеличение темпа падения дебита ");//, tenmd);
kd:=num_day(w1.Q, d, md[1]-d, w1.threshold);
if kd<24 then res:=2; else res:=3; end;
WriteLn("Дебит на скважине "+w1.name+" упадет ниже норматива через "+ToString(kd)+" часов при начальном паде
new WellFlowRateTrendAnalysisResult(Text: "На скважине "+w1.name+" дебит упадет ниже норматива через "+ToSt
Subject: w1, Result: res);
else
if ( tenmd = 4 | tenmd = 5 | (tenmd = 6 & IsPositive(md)) )
then
WriteLn("На скважине ",w1.name," зафиксировано стабильное падение дебита ");//, tenmd);
kd:=num_day(w1.Q, d, 0.0, w1.threshold);
if kd<24 then res:=2; else res:=3; end;
WriteLn("Дебит на скважине "+w1.name+" упадет ниже норматива через ",kd, " часов при среднем падении на "
new WellFlowRateTrendAnalysisResult(Text: "На скважине "+w1.name+" Дебит упадет ниже норматива через "+ToSt
Subject: w1, Result: res);
else new WellFlowRateTrendAnalysisResult(Text: "На скважине "+w1.name+" зафиксировано падение дебита",
Subject: w1, Result: 1);
end;
end;
end;
end;
```



- Предложены принципы построения и функционирования системы, обеспечивающей поддержку принятия решений для ЛПР.
- Поддерживается настройка такой системы на предметную область и типы решаемых задач.
- На данный момент реализована экспериментальная версия системы, обеспечивающая поддержку принятия решений задач, описанных выше.
- Успешная реализация экспериментальной СППР показала плодотворность предложенного подхода построения СППР на основе онтологий.



### Ближайшие цели:

- Подключение к системе новых модулей поддержки принятия решений.
- Исследование возможности подключения к СППР нового решателя UniCalc, который предполагается использовать для решения оптимизационных задач вместо или вместе с решателем GLPK.

(Решатель UniCalc предназначен для решения прямых и обратных задач, представленных системами алгебраических уравнений, неравенств и логических выражений. Решаемая система может быть переопределенной или недоопределенной, а параметры уравнений и неравенств могут быть заданы неточно, в виде интервалов допустимых значений. UniCalc позволяет проводить вычисления одновременно как с целыми, так и с вещественными переменными.)





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