
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В НЕЧЕТКИХ УСЛОВИЯХ КОНЪЮНКТУРЫ РЫНКА

**А. В. Спесивцев, кандидат технических наук, доцент.
ЗАО «ТЕХНОЛИНК».**

**Н. Ю. Уланова, кандидат технических наук. Санкт-Петербургский
государственный технологический институт (технический университет).**

**А. В. Вагин, кандидат технических наук. Санкт-Петербургский
университет ГПС МЧС России**

Одной из основных задач информационных технологий любых систем является интеграция данных в единое информационное пространство большей системы для пользователей различных уровней. Целью настоящей статьи является демонстрация одного из методов интеллектуализации автоматизированных информационно-диагностических систем с использованием баз знаний в виде аналитического выражения как результата формализации экспертной информации.

Ключевые слова: информационные технологии, интеллектуальная информационно-диагностическая система, магистральный газопровод, факторное пространство, компрессорная станция

INTELLECTUAL EXPERT SUPPORT SYSTEM OF DECISION-MAKING PROCESS IN INDISTINCT CONDITIONS OF MARKET CONDITION

A. V. Spesivtsev, N. Y. Ulanova, A. V. Vagin

One of the primary goals of information technologies of any systems is integration of data into uniform information space of greater system for users of various levels. The purpose of present clause is demonstration of one of methods of intellectualization of the automated information-diagnostic systems with use of knowledge bases in the form of analytical expression as result of formalization of the expert information.

Key words: information technologies, intellectual information-diagnostic system, the main gas main, factorial space, compressor station

Одной из основных задач информационных технологий любых систем является интеграция данных в единое информационное пространство большей системы для пользователей различных уровней. Как правило, информации присущи объективная неоднородность и отсутствие эффективных методик ее свертывания для восприятия ее лицами, принимающими решения (ЛПР). Это связано с тем, что вместе с количественной

поступает много и качественной (вербальной, нечеткой) информации в виде нормативных документов, сообщений и т.д. Нечеткость выступает здесь как внутреннее свойство информации [1], что, вместе с огромным потоком разнообразных данных, предопределяет настоятельную необходимость в интегральных (обобщенных) показателях, характеризующих изучаемое явление с различных сторон одновременно. Новые подходы к построению подобных показателей, как показывает опыт [1, 2], дают возможность повысить степень интеллектуализации информационно-управляющих систем любого, особенно высокого, уровня.

Целью настоящей статьи является демонстрация одного из методов интеллектуализации автоматизированных информационно-диагностических систем (ИИДС) с использованием баз знаний в виде аналитического выражения как результата формализации экспертной информации.

Интеллектуальная информационно-диагностическая система

Рассмотрим построение ИИДС как советчика ЛПР высокого уровня (ЛПР ВУ) на примере оценки выгоды создания кратковременного дополнительного запаса газа в магистральном газопроводе в нечетких условиях конъюнктуры рынка [3, 4]. Необходимость создания «горячего» резерва газа возникает периодически и только при благоприятной конъюнктуре, когда потребитель срочно нуждается в дополнительных объемах и готов платить «за скорость». ЛПР при этом, естественно, имеет более высокий ранг, чем диспетчер, в компетенцию которого входит только своевременное обеспечение необходимого запаса газа на необходимом участке и информирование об этом соответствующих служб.

Информация, необходимая для ЛПР ВУ, должна быть специфичной: системной, емкой, компактной и в то же время давать полное представление об объекте на данный момент. Такими свойствами обладают только обобщенные системные показатели в многомерном факторном пространстве, полученные путем формализации экспертной информации в виде аналитического выражения [1, 3].

ИИДС для решения поставленной задачи двухуровневая. На первом этапе создается полиномиальная модель количественной оценки запаса газа на отдельном участке магистрального газопровода (МГ) в виде аналитического выражения (Y_1) по методике [1, 2], на втором – оценки выгоды ситуации при создании запаса в целом по МГ в зависимости от количества дополнительного запаса газа на отдельных его участках (Y_2).

Факторное пространство на первом этапе включало пять переменных, наиболее полно, по мнению экспертов, соответствующих решению задачи [2, 3]:

X_1 – количество газа в трубе на данный момент времени, % от расчётного;

X_2 – температура газа в трубе на выходе компрессорной станции, °С;

X_3 – техническое состояние на участке между компрессорными станциями, качественная переменная;

X_4 – температура окружающей среды, °С;

X_5 – степень необходимости создания запаса газа в трубе, качественная переменная.

Выбранное факторное пространство обеспечивает системный подход к получению обобщенного показателя Y_1 , так как характеризует его с различных сторон, а именно: состояние газа в трубе (X_1 ; X_2); техническое состояние самой трубы (X_3); внешние действующие факторы (X_4 ; X_5).

Y_1 как лингвистическая переменная представлена на рис.1.

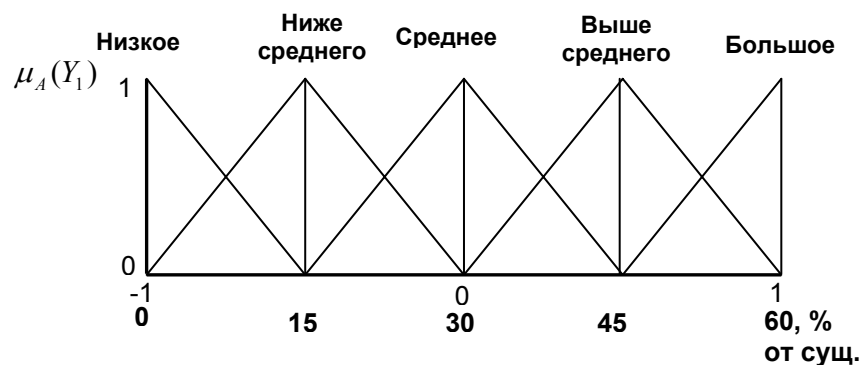


Рис.1. Количество дополнительного запаса газа в трубе на отдельном участке, % от существующего на данный момент

Обобщенный показатель Y_1 определяется для каждого из участков газопровода между компрессорными станциями (примерно 100 км). Для ЛПР ВУ эти показатели являются только одной из составляющих его более общей модели принятия решения. С другой стороны, перечисленные зависимые переменные, входящие в модель этого уровня, являются также обобщенными показателями для моделей более низкого уровня, так что для них можно построить прогностическую модель указанным выше методом. Например, техническое состояние системы МГ (X_4) целиком определяется данными нижнего уровня и является функцией таких показателей, как состояние металла труб и монтажных сварных стыков, коррозионная активность грунта, степень аварийности, отказов и ремонта труб и т.д.

Таким образом, предлагаемый метод построения обобщенного показателя технического состояния системы (ОПТСС) применим на любом уровне.

Модель строилась в виде обобщенного показателя состояния системы (Y_1) в пятифакторном нечетком пространстве. Опрос экспертов проводился по специально построенной опросной матрице, где каждая строка имела импlicative форму типа «Если..., то...», реализующую продукционное правило: «ситуация – решение (действие)».

Например, одна из строк матрицы читается так:

«Если количество газа в трубе на данный момент времени (x_1) – *небольшое* и температура газа в трубе на выходе компрессорной станции (x_2) – *низкая* и техническое состояние трубы на участке между компрессорными станциями (x_3) – *хорошее* и температура окружающей среды (x_4) – *низкая* и необходимость создания запаса газа в трубе (x_5) – *высокая*, то количество дополнительного запаса газа в трубе на данном участке (Y_1) – *большое*».

Результирующее уравнение со значимыми коэффициентами приняло вид

$$Y_1 = 26 - 7.97 x_1 + 5.63 x_3 + 9.38 x_5 - 1.88 x_1 x_5 - 1.88 x_3 x_4 - 1.88 x_4 x_5 - 2.34 x_1 x_2 x_4, \quad (1)$$

где x_i представлены в стандартизованном масштабе.

На рис.2 показана функция отклика по (1) при фиксированных значениях остальных переменных, закрепленных на нижних допустимых уровнях.

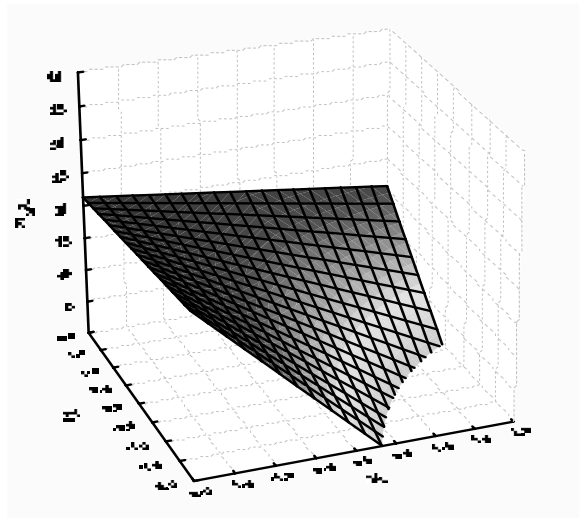


Рис. 2. Функция отклика $Y = f(x_1, x_2)$

Здесь явно выделяется целая область значений переменных X_1 и X_2 , при которых создание дополнительного запаса газа практически невозможно. Таким образом, представляется возможным выделение такой области во всем факторном пространстве.

На втором этапе ИИДС по данным количественных оценок возможного создания дополнительного запаса газа на каждом из участков (Y_{1i} , где i – количество участков МГ) как независимым переменным (X_i) по той же методике формализации экспертной информации строится Y_2 – оценка выгодности создавшейся ситуации в целом по МГ с учетом как количества возможного запаса, так и места расположения участка. Дело в том, что местоположение участка определяет время поставок газа потребителю, и если конъюнктура требует немедленной поставки, то фактор времени может сыграть решающую роль в принятии положительного решения по удовлетворению потребностей потребителя.

Y_2 выражается в долях единицы, как показано на рис. 3. Шкала нечетких значений приведена в табл.1.

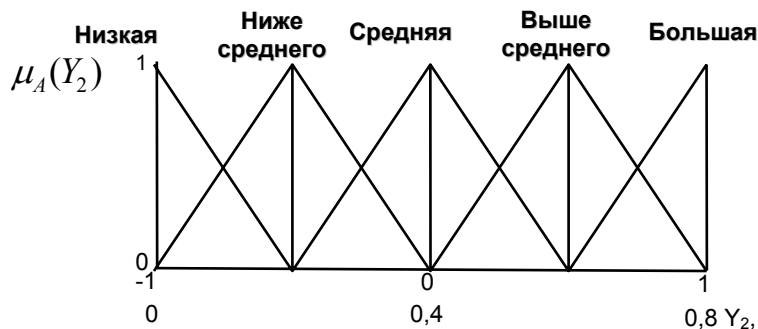


Рис. 3. Выходная переменная Y_2

Решение всей задачи на обоих уровнях ИИДС проведено применительно к условиям ООО «Новгородрегионгаз», располагающее четырьмя ($i = 4$) участками МГ примерно по 100 км между компрессорными станциями.

Результирующее уравнение имеет вид:

$$Y_2 = 0.4375 + 0.0625 X_1 + 0.0875 X_2 + 0.1375 X_3 + 0.1625 X_4. \quad (2)$$

Следует подчеркнуть существенную линейность модели, что с экономической точки зрения вполне объяснимо сравнительно небольшим (не более 30 %) увеличением накопленного газа выше расчётного.

Таблица 1. Шкала нечетких значений Y_2

Границы интервала	Мода	Наименование интервала	Характеристика состояния
0 и ниже	0	Низкая	Нет возможности создания дополнительного запаса газа
0 – 0,4	0,2	Ниже средней	Дополнительный запас газа на начальных участках или же потребность в газе небольшая. Поставка потребителю возможна только при наличии времени на переброску
0,2 – 0,6	0,4	Средняя	Ситуация выгодна, однако предпочтительнее наличие газа ближе к потребителю
0,4 – 0,8	0,6	Выше средней	Ситуация выгодна всегда, но зависит от количественных показателей на участках
0,8 и выше	0,8	Высокая	Ситуация выгодна всегда

Анализ уравнения показывает закономерное увеличение влияния уровня запасенного газа от положения участков, то есть чем ближе к потребителю, тем выше коэффициент его влияния: 0,16 при X_4 против 0,06 при X_1 (нумерация участков от поставщика). В пользу правильности логики эксперта свидетельствуют положительные знаки при всех коэффициентах в том аспекте, что дополнительный запас газа на любом участке увеличивает выгодность ситуации не- независимо от его местонахождения.

Проанализируем уравнение (2) в крайних его состояниях. Так, если создать дополнительное количество газа во всех секциях невозможно, что соответствует ситуации: $X_1=X_2=X_3=X_4=-1$, то, $Y_1 \approx 0$, что вполне логично с точки зрения решения данной задачи для всего МГ. Другое крайнее значение при $X_1=X_2=X_3=X_4=+1$, то есть возможно полное создание дополнительного количества газа на всех участках одновременно, то $Y_1 > 0,8$, что по лингвистической шкале рис. 3 оценивается как «высокая» степень выгодности ситуации.

Следует отметить ещё одно обстоятельство, связанное с влиянием фактора времени: при наличии объективного долгосрочного (3–5 дней) прогноза температуры внешней среды оценка степени выгодности ситуации гораздо более весома, поскольку позволяет даже при значениях «Ниже средней» поставлять дополнительную квоту газа за счёт накопления его на дальних от поставщика участках МГ.

Проверка адекватности системы

Адекватность построенной ИИДС проверим прямым сравнением расчётов по уравнениям (1), (2) и сложившихся ситуаций при промышленных поставках газа ООО «Новгородрегионгаз» в 2006–2007 гг. (табл.2).

Поскольку X_1 в модель (1) входит как относительная величина и не требует истинных объёмов поставок газа, то все данные табл. 2 не носят конфиденциального характера.

Учитывая вышесказанное, проанализируем расчетные и фактические результаты табл. 2.

Во-первых, адекватность интеллектуальной информационно-диагностической системы в целом по МГ свидетельствует об адекватности модели оценки возможного создания дополнительного запаса газа в трубе и на отдельном участке по (1).

Во-вторых, применение статистических критериев (например, по минимуму остаточной дисперсии) в рамках поставленной задачи неуместно, поскольку адекватная

оценка ситуации не гарантирует необходимости возможного количества поставок дополнительного газа.

В-третьих, поскольку некоторые переменные явно неколичественные и ошибки их определения также невозможно точно выразить в количественных терминах, то суммарную погрешность уравнения (2) можно оценивать по коэффициентам нечеткости зависимой переменной Y_2 .

Так как рассчитанные по формулам (1) и (2) оценки совпали с реальными ситуациями по поставкам сверхлимитного газа, то построенную ИИДС следует считать адекватной реальному процессу.

Преимуществом разработанной ИИДС является то, что для ее обслуживания не требуется дополнительной информации, и она легко интегрируется в любую АСУТП любого уровня в виде программного продукта.

Таблица 2. Проверка адекватности количественных оценок создания дополнительного запаса газа на участках Y_1 и выгоды ситуации в целом Y_2 реальным поставкам ООО «Новгородрегионгаз» в 2006–2007 гг.

№	Дата	$T_{в}$, °C	Y_1				Y_2	Реальное выполнение
			1	2	3	4		
1	26.01.2006	-10	42,2	33,5	29,0	41,2	0,53	Потребовалось 40 %
2	30.02.2006	-3	39,1	28,8	29,7	33,5	0,47	Потребовалось 30 %
3	12.03.2006	2	29,8	16,0	11,9	25	0,29	Потребовалось 25 %
4	18.04.2006	9	19,9	14,9	23,1	16,8	0,27	25 %
5	30.05.2006	15	22,6	21,3	19,5	23,2	0,31	27 %
6	26.06.2006	28	40,3	30,2	29,6	37,8	0,50	40 %, заполнение ПХГ
7	28.07.2006	20	29,6	23,8	20,2	31,4	0,38	42 %, заполнение ПХГ
8	13.08.2006	22	20,7	18,1	15,8	23,6	0,28	23 %, заполнение ПХГ
9	25.09.2006	10	29,5	21,8	16,1	15,3	0,18	15 %, заполнение ПХГ
10	26.10.2006	5	7,4	6,9	7,4	6,4	0,09	15 %, заполнение ПХГ
11	29.11.2006	3	8,9	10,8	11,0	8,3	0,13	10 %, промышленность
12	5.12.2006	9	7,0	11,6	11,2	7,1	0,13	10 %
13	27.01.2007	-15	41,7	29,2	30	44,4	0,54	45 %, экспорт
14	15.02.2007	-20	49,2	37,0	31,1	47,5	0,60	51 %, экспорт

Примечание. ПХГ – подземное хранилище газа

Перспективы применения метода

1. Главным достоянием любого подразделения нефтегазовой отрасли является опыт и квалификация персонала. Например, деятельность диспетчера проявляется в различных формах: от оперативного управления до принятия решений в нештатных ситуациях. При наличии достаточно разработанных расчетных методах и алгоритмах, реализованных в вычислительных комплексах, опыт и интуиция диспетчера играет далеко не последнюю роль. Предлагаемый метод в своей основе содержит формализацию накопленного опыта в виде аналитического уравнения. Именно это качество метода наиболее гармонично

интегрируется в интеллектуализацию АСУ уровня принятия решения диспетчером в факторном пространстве его деятельности по различным локальным направлениям, поскольку не требует дополнительной информации специального назначения.

2. При наличии построенной многомерной модели получаемые численные результаты позволяют выявить характер совокупного влияния действующих факторов на изменения физического состояния исследуемого объекта Y , а также определить некоторые количественные границы факторов, превышение которых при действии определенных сочетаний факторов приводит к тому, что система оказывается в критической области. Таким образом, представляется возможным прогнозирование выхода системы в зоны аварийного состояния или разрушения для своевременного принятия управленческих или инженерных решений.

3. Как правило, для построения статистических моделей, например прогнозирования чрезвычайных ситуаций, требуется репрезентативная выборка, что предполагает, во-первых, однородность данных, а во-вторых, достаточный объем информации. Но среди многих существующих объектов, например газопроводов, вряд ли найдется несколько одинаковых по конструктивным характеристикам и условиям эксплуатации, так что налицо явное нарушение однородности объединения статистических данных. С другой стороны, повышение достоверности прогнозирования в части предупреждения чрезвычайных ситуаций и оценки безопасности объектов вероятностными методами возможно только на основе достаточно большого объема информации об авариях и катастрофах, то есть налицо явно парадоксальная ситуация, когда для улучшения прогноза необходим количественный рост числа аварий и катастроф.

Предлагаемый принципиально новый метод в виде синтеза теории нечетких множеств и планирования экспериментов позволяет уйти от формального требования численного роста аварий и чрезвычайных ситуаций для повышения достоверности результатов прогноза и при выполнении расчетов учитывать многокомпонентную информацию.

Литература

1. Спесивцев А. В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации / Под ред. В.С. Артамонова – СПб., 2004. – 238 с.

2. Перспективы интеллектуализации баз знаний АСУ газотранспортных систем методом формализации экспертной информации / Ю. В.Тропинов, А. В.Спесивцев, Н. Ю.Тропинова, Н. Г.Домшенко // Сб. докладов. IX Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM 2006, Санкт-Петербург, 2006 г. – СПб., 2006. – Т.1. – С.143–146.