

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201800355** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.12.30

(51) Int. Cl. **G06N 5/02 (2006.01)**
G06N 7/02 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.06.07

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ОБРАТНОГО НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ПОСЫЛКЕ ПРЯМОГО ВЫВОДА

(96) **2018000069 (RU) 2018.06.07**

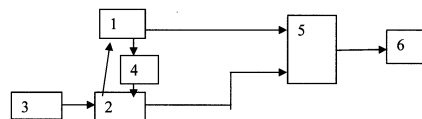
(71) Заявитель:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИТ-
АГРО" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Матвеев Михаил Григорьевич,
Журавлев Владимир Николаевич,
Тюкачев Николай Аркадиевич,
Илларионов Игорь Владимирович
(RU)**

(74) Представитель:
**Котлов Д.В., Черняев М.А., Яремчук
А.А., Пустовалова М.Л. (RU)**

(57) Настоящее техническое решение относится к специализированным устройствам вычислительной техники, а именно к экспертным системам поддержки принятия решений, и может быть использовано для on-line консультирования в режиме "запрос - ответ" при выборе рациональных параметров с недетерминированными закономерностями в рамках допустимого используемой базой знаний вопроса пользователя. Технический результат заключается в расширении класса допустимых вопросов пользователей, что обеспечивает повышение эффективности использования экспертной системы. Технический результат достигается тем, что в системе принятия решений с расширяемой базой

знаний, включающей блок формирования запроса пользователя, соединенный со входами блока установления соответствия и блока прямого нечеткого логического вывода ответа, выход которого соединен со входом блоком дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения, с первого выхода которого снимается числовой ответ, блок базы знаний, вход которого соединен с выходом блока установления соответствия и с выходом блока обучения, а выходы со вторым входом блока прямого нечеткого логического вывода и блоком формирования запроса, согласно полезной модели дополнительно содержит последовательно соединенные блоки построения четких числовых табличных парных зависимостей, построения четких обратных парных зависимостей и формирования совокупности новых правил, выходом блока формирования новых правил подключенный ко второму входу блока базы знаний, причем вход блока построения четких числовых табличных парных зависимостей соединен со вторым выходом блока дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения, а вторым выходом к третьему входу блока прямого нечеткого логического вывода.



A1

201800355

201800355

A1

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ОБРАТНОГО НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО ПОСЫЛКЕ ПРЯМОГО ВЫВОДА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее техническое решение относится к специализированным устройствам вычислительной техники, а именно к экспертным системам поддержки принятия решений, и может быть использована для on-line консультирования в режиме «запрос - ответ» при выборе рациональных параметров с недетерминированными закономерностями в рамках допустимого используемой базой знаний вопроса пользователя.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

В настоящее время системы, основанные на нечеткой логике, работают во многих отраслях, в том числе в военной промышленности в высокоточных системах управления оружием, в автомобильной промышленности (системы управления двигателями, трансмиссиями, антиблокировочные тормозные системы); в аэрокосмической промышленности (высокопроизводительные системы управления самолетами и космическими аппаратами); в бытовой технике (стиральные машины, телевизоры, видеокамеры, фотоаппараты и др.); а также в управлении производством и транспортом, анализе и прогнозировании в сфере политики и экономики, управлении портфелем ценных бумаг, анализе рисков; в анализе данных (системы классификации, кластеризации и распознавания образов). Применение нечеткой логики в этих отраслях позволяет повысить эффективность создаваемых систем, уменьшить время и затраты на их разработку.

Недостатком большинства известных систем является отсутствие развиваемой базы знаний, в том числе за счет обучения (есть одно или несколько неизменных правил)

Из патента РФ 2309443 (МПК G05B 13/02, G05B 11/01, опубл. 27.10.2007) известен нечеткий регулятор с лингвистической обратной связью, обеспечивающий автоматическое управление сложными быстродействующими технологическими процессами, не имеющими классических математических моделей. Регулятор включает фаззификатор с шестью входными каналами, блок нечеткого логического вывода, состоящий из базы правил, базы функций принадлежности и программно реализованного нечеткого сравнивающего устройства, дефаззификатор, исполнительный орган, объект управления и датчик обратной связи. Сравнивающее

устройство реализовано в составе условной части продукционных правил блока нечеткого логического вывода.

Наиболее близким по технической сущности к предложенному устройству является экспертная система поддержки принятия решений с базой знаний, построенной на основе систем нечетких продукционных правил и механизма прямого нечеткого вывода с возможностями развития и обучения, которая позволяет генерировать ответы на некоторый допустимый класс вопросов пользователей. (Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети –М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 284 с.). Прототип состоит из блока формирования запроса пользователя на основе заданных шаблонов структуры нечетких правил; блока базы знаний в виде совокупности подсистем нечетких правил определенной структуры с заданными нечеткими параметрами, задающая числовую зависимость входных и выходных параметров правил; блока обучения; блока установления соответствия; блока прямого нечеткого логического вывода ответа на запрос пользователя; блока дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения как результата прямого логического вывода.

Недостатком прототипа является использование базы знаний в форме развиваемых систем нечетких продукционных правил только для прямого нечеткого логического вывода (нечеткого *modus ponens*), так как применение обратного нечеткого логического вывода (нечеткого *modus tollens*) на той же системе правил невозможно. Указанный недостаток не позволяет расширять класс допустимых вопросов пользователей для существующей базы знаний, что существенно снижает эффективность использования экспертных знаний системы.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Задачей, которая решается в заявленной полезной модели, является разработка дополнительных вычислительных блоков для экспертной системы, реализующих построения обратного вывода на основе существующей системы нечетких продукционных правил с прямым логическим выводом.

Технический результат заключается в расширении класса допустимых вопросов пользователей, что обеспечивает повышение эффективности использования экспертной системы.

Технический результат достигается тем, что в системе принятия решений с расширяемой базой знаний, включающей блок формирования запроса пользователя,

соединенный со входами блока установления соответствия и блока прямого нечеткого логического вывода ответа, выход которого соединен со входом блоком дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения, с первого выхода которого снимается числовой ответ, блок базы знаний, вход которого соединен с выходом блока установления соответствия и с выходом блока обучения, а выходы со вторым входом блока прямого нечеткого логического вывода и блоком формирования запроса, согласно полезной модели дополнительно содержит последовательно соединенные блоки построения четких числовых табличных парных зависимостей, построения четких обратных парных зависимостей и формирования совокупности новых правил, выходом блока формирования новых правил подключенный ко второму входу блока базы знаний, причем вход блока построения четких числовых табличных парных зависимостей соединен со вторым выходом блока дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения, а вторым выходом к третьему входу блока прямого нечеткого логического вывода.

Правила имеют вид: ЕСЛИ vx_1 есть $\tilde{x}_1$ и vx_2 есть $\tilde{x}_2$ и...и vx_n есть $\tilde{x}_n$, ТО выход есть $\tilde{y}$.

$\tilde{x}$ и $\tilde{y}$ входные и выходные нечеткие (лингвистические) переменные. Пользователь задает на входе соответствующие обычные числа. Естественно хочет получить на выходе также понятное, четкое числовое значение.

Конкретные наименования лингвистических переменных задают подсистему нечетких правил, где каждому правилу соответствуют свои нечеткие значения лингвистических переменных. Например, лингвистическая переменная «рост» может принимать значения «высокий» и «низкий».

ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На фиг. 1 приведена структура прототипа, а на фиг. 2 – структура заявленного устройства.

На фиг. 3 приведена графическая иллюстрация схемы прямого логического вывода (функции принадлежности).

На фиг. 4 изображен график зависимости урожайности (t) от количества вносимого удобрения (t).

ДЕТАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Блок формирования запроса пользователя 1 осуществляет формирование запроса на основе заданных шаблонов структуры нечетких правил; запрос представляет собой заданный пользователем вектор четких значений входных параметров, который встраивается в выбранный шаблон; каждому шаблону соответствует своя подсистема правил. Блок базы знаний 2 содержит совокупность подсистем нечетких правил определенной структуры с заданными нечеткими параметрами и задает числовую зависимость входных и выходных параметров правил. Перед началом работы системы к блоку базы знаний подключается блок обучения 3, формирующий новые подсистемы правил и задающий их структуру и параметры на основе знаний экспертов и методов машинного обучения, для внесения дополнительной или обновленной информации. Блок формирования запроса соединен с блоком базы знаний через блок установления соответствия между выбранным пользователем шаблоном и подсистемой правил 4, а также с блоком прямого нечеткого логического вывода ответа 5 на запрос пользователя в виде нечеткого значения выходного параметра подсистемы правил, адекватной шаблону запроса, выход которого соединен с блоком дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения как результата прямого логического вывода 6. С выхода блока 6 считывается ответ на запрос, а второй его выход подключен к блоку 7 построения четких числовых табличных парных зависимостей компонент входного вектора и выходного параметра выбранной подсистемы правил, последовательно соединенному с блоком построения четких обратных парных зависимостей 8 (зависимости одной из компонент входного вектора от четко заданной выходной переменной при фиксированных остальных переменных входного вектора выбранной подсистемы правил) и блоком 9 формирования совокупности новых правил (четких зависимостей) на основе добавления обратных зависимостей, выход которого подключен к блоку 2. При этом второй и третий входы блока 5 соединены со вторым выходом блока 2 и вторым выходом блока 7, а выход блока 2 соединен со входом блока 1.

Табличные парные зависимости компонент входного вектора в допустимом диапазоне их изменения, которые строит блок 7 для каждой выбранной подсистемы правил, позволяют определять значения обратных зависимостей (фиг. 4), т.е. строить обратный вывод. Функцию построения обратного вывода выполняет блок 8. Обратные парные зависимости из блока 8 поступают в блок 9, где они оформляются в новые правила (четкие) и передаются в соответствующую подсистему нечетких правил, расширяя их функциональные возможности. Это расширение дает возможность формирования новых

допустимых вопросов в блоке 1. Следовательно экспертная система в ходе процесса обучения сможет отвечать на более широкий спектр вопросов пользователей.

Таким образом, расширение класса допустимых вопросов пользователей обеспечивает повышение эффективности использования базы знаний экспертной системы.

Рассмотрим работу системы применительно к сельско-хозяйственной отрасли, где она может быть использована при выборе рациональных параметров аграрных технологий

Пользователи формируют свои вопросы с помощью блока 1 в виде заполнения имеющихся там шаблонов технологическими переменными и их четкими значениями. Структура шаблонов соответствует структуре базы знаний экспертной системы (блок 2). Новые структурные элементы в базе знаний порождают новые шаблоны вопросов пользователей, что расширяет функциональные возможности экспертной системы.

Элементами структуры базы знаний являются правила вида:

ЕСЛИ X_1 есть А И X_2 есть В И ... ТО Y есть С

Например:

ЕСЛИ удобрений много И почва тучная ТО урожайность высокая

ЕСЛИ удобрений мало И почва бедная ТО урожайность низкая

«Удобрение», «почва», «урожайность» - лингвистические переменные, «много», «тучная», «высокая» и т.д. – нечеткие переменные или значения лингвистических переменных. Совокупность правил одной структуры, содержащая одинаковые лингвистические переменные с разными значениями, – подсистема правил в составе базы знаний. X – переменные посылок, Y – переменная заключения.

Подсистемы правил формируются экспертами (аграрными технологами), их структура и параметры могут уточняться методами машинного обучения при наличии статистических данных о связях посылок и заключений. Эти функции выполняет блок 3.

Вопрос пользователя, сформированный в блоке 1 с помощью блока 4 находит релевантную ему подсистему правил в блоке 2, и эта подсистема вместе с вопросом пользователя поступает на блок нечеткого логического вывода 5, который формирует ответ пользователю в нечетких терминах. Происходит это следующим образом.

Четкие значения переменных посылки (X) из вопроса пользователя поступают на вход функций принадлежности нечетких переменных.

Пусть экспертами заданы нечеткие высказывания на соответствующих измерительных шкалах:

Качество почвы x_1 на условной шкале от 0 до 150

Количество удобрений x_2 на условной шкале от 0 до 100

Урожайность y на условной шкале от 0 до 300

Функции принадлежности $\mu_A(x) \in [0;1]$ имеют вид, приведенный на фиг. 3

Например, производитель указал, что его почва на условной шкале соответствует значению 75. Из первого рисунка (фиг. 1а) видно, что функция принадлежности примет значение 0,5 (такое значение почвы только на 50% соответствует понятию почва тощая). С помощью специальных правил полученные значения функций принадлежности послышки во всех правилах подсистемы формируют единую для подсистемы функцию принадлежности заключения - $\mu_C(y)$. Эта функция является выходом блока 5 и поступает в блок 6, где дефазифицируется (превращается из нечеткого в четкий) по правилу «центра тяжести»:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^m y_i \mu_C(x_i)}{\sum_{i=1}^m \mu_C(x_i)}.$$

Так для рассматриваемого примера при $x_1=50$ и $x_2=75$ выход заключения подсистемы правил составит $y=200$.

До блока 6 описан прямой нечеткий логический вывод.

Необходимо заметить, что подсистема нечетких правил, по сути дела, представляет собой аппроксимацию некоторой сложной зависимости $y = f(x_1; x_2)$, которую сложно записать в аналитическом виде. Однако построить парные зависимости $y = f(x_1; x_2^*)$ и $y = f(x_1^*; x_2)$, где * обозначает фиксированные значения входных переменных, можно численным образом, т.е. задавая последовательность значений переменного входа послышки можно построить график (фиг. 4).

Очевидно, что уже на этом графике можно решать обратную задачу $x_1 = f^{-1}(x_2; y)$, т.е. найти такое количество удобрения, которое обеспечит на заданной почве требуемую урожайность.

Блок 7 строит график всех парных зависимостей для выбранной подсистемы правил. Блок 8 либо реализует алгоритм табличного нахождения обратных зависимостей, либо реализует аппроксимацию полученной линии простым полиномом, например, линейным. Блок 9 на основе такой аппроксимации добавляет обратные зависимости в соответствующую подсистему правил блока 2. Наличие таких правил в блоке 2 позволяет расширить возможности шаблонов вопросов пользователей.

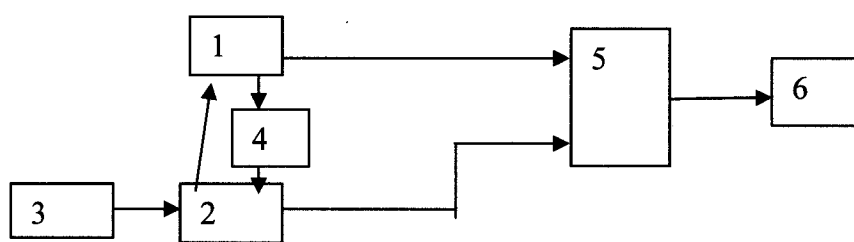
Представленные выше системы может быть реализована на базе широкого спектра вычислительных устройств, например, в виде одного или нескольких компьютеров, серверного кластера, мейнфрейма и т.п.

Помимо представленной архитектуры логических блоков, система при реализации на базе компьютерного устройства также включает стандартизованные компоненты, такие как: процессор, оперативную память (RAM), запоминающее устройство (HDD, SSD, флэш-память), интерфейсы ввода/вывода информации (USB, AGP, PCI, PS/2, Lightning, FireWire, LPT и т.п.), средства ввода/вывода информации (экран, сенсорный дисплей, проектор, динамики, микрофон, клавиатура, джойстик, трекбол, тач-пад, световое перо и т.п.), средство сетевого взаимодействия (Ethernet, WLAN, Wi-Fi, GSM/GPRS/LTE модем, Bluetooth и т.п.).

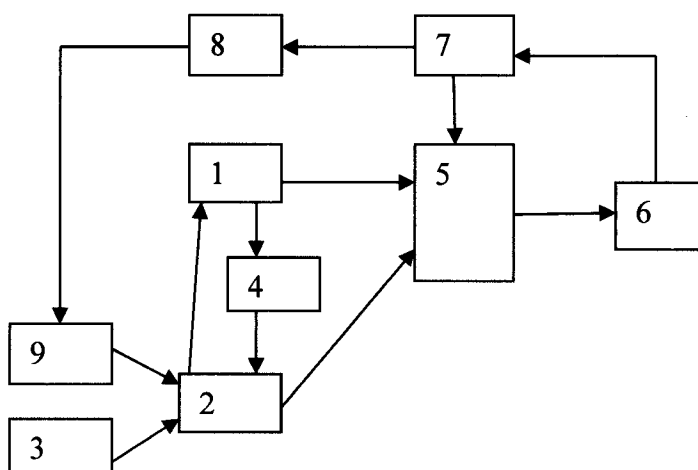
Формула изобретения

1. Система принятия решений с расширяемой базой знаний, включающая блок формирования запроса пользователя, соединенный со входами блока установления соответствия и блока прямого нечеткого логического вывода ответа, выход которого соединен со входом блоком дефаззификации нечеткого выходного параметра, с первого выхода которого получают числовое значение, блок базы знаний, вход которого соединен с выходом блока установления соответствия, а выходы со вторым входом блока прямого нечеткого логического вывода и блоком формирования запроса, отличающийся тем, что дополнительно содержит последовательно соединенные блоки построения четких числовых табличных парных зависимостей, построения четких обратных парных зависимостей и формирования совокупности новых правил, выходом блока формирования новых правил подключенный ко второму входу блока базы знаний, причем вход блока построения четких числовых табличных парных зависимостей соединен со вторым выходом блока дефаззификации нечеткого выходного параметра и интерпретации полученного числового значения, а вторым выходом к третьему входу блока прямого нечеткого логического вывода.

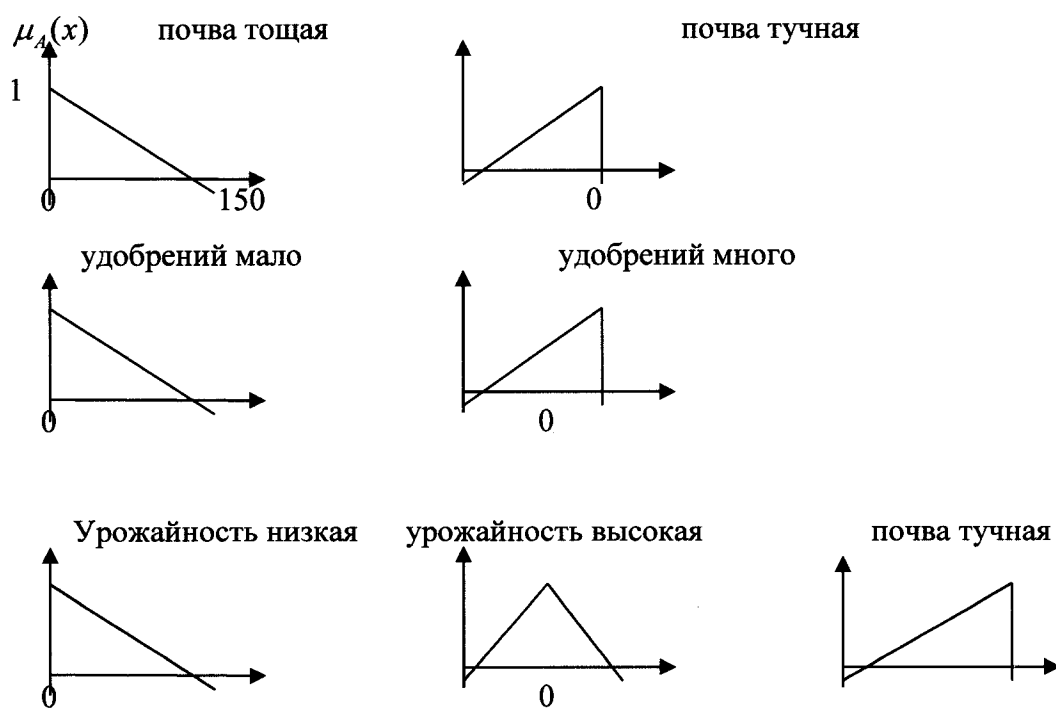
2. Система по п. 1, отличающаяся тем, что к третьему входу базы знаний подключают блок обучения.



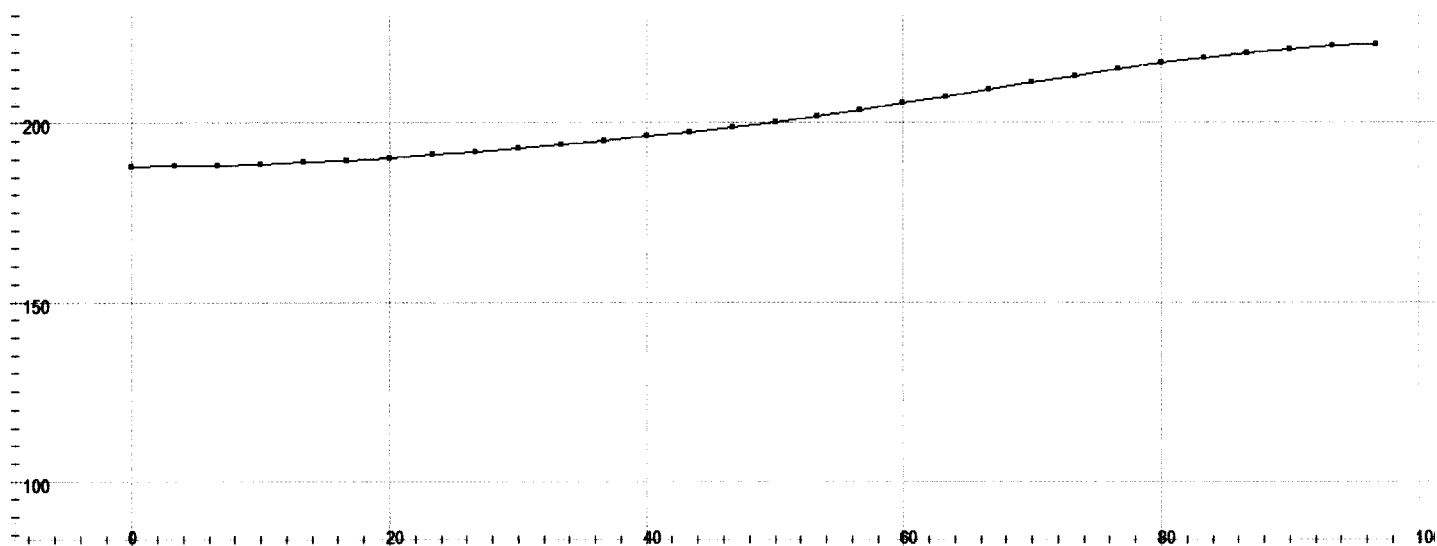
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



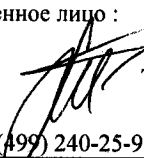
Фиг. 4

ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ
ПОИСКЕ(статья 15(3) ЕАПК и правило 42
Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201800355

Дата подачи: 07 июня 2018 (07.06.2018)		Дата испрашиваемого приоритета:	
Название изобретения: Способ получения заключения обратного нечеткого логического вывода, соответствующего посылке прямого вывода			
Заявитель: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИТ-АГРО"			
☐ Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа) ☐ Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)			
А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:			
МПК:	G06N 5/02 (2006.01)	СПК:	G06N 5/02 (2013-01)
	G06N 7/02 (2006.01)		G06N 5/025 (2013-01)
			G06N 7/023 (2013-01)
Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК			
Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:			
Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК)			
G06N 5/00-5/04, 7/00-7/02, G06F 7/00, 7/38, 7/48, 7/52-7/523, 9/00, 9/06, 9/44, 17/00, G05B 11/00, 11/01, 13/00, 13/02			
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:			
В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ			
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей		Относится к пункту №
A	US 2017/0278008 A1 (GOVERNMENT OF THE UNITED STATES, AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF THE AIR FORCE) 28.09.2017		1-2
A	US 6950813 B2 (HRL LABORATORIES, LLC) 27.09.2005		1-2
A	RU 2309443 C1 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ "УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ") 27.10.2007		1-2
A	RU 160867 U1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ "ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.Т. КАЛАШНИКОВА") 10.04.2016		1-2
☐ последующие документы указаны в продолжении графы В ☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении			
* Особые категории ссылочных документов:			
"А" документ, определяющий общий уровень техники		"Т" более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения	
"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее		"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности	
"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.		"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории	
"Р" документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета		"&" документ, являющийся патентом-аналогом	
"D" документ, приведенный в евразийской заявке		"L" документ, приведенный в других целях	
Дата действительного завершения патентного поиска:		26 декабря 2018 (26.12.2018)	
Наименование и адрес Международного поискового органа:		Уполномоченное лицо:	
Федеральный институт промышленной собственности РФ, 125993, Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб., д. 30-1. Факс: (499) 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА		 Т. М. Иванова Телефон № (499) 240-25-91	