Разработка подхода, оперирующего с треугольным представлением нечетких чисел, на основе PSO-алгоритма

**Человек:** Предметом исследования являются интеллектуальные алгоритмы решения оптимизационных задач. Известно, что для одних и тех же проектных процедур в одних случаях необходимо получать точные решения, а в других достаточно получения приближенных решений. По этой причине актуальной является проблема управления точностью получаемых приближенных решений. Под приближенным решением можно понимать некоторую область точек, каждая из которых может быть в некоторой степени решением задачи. Предполагается, что на начальных этапах решения оптимизационной задачи допустимо оперировать нечеткими значениями, постепенно сужая область поиска. Предлагается подход который дополняет известный алгоритм "оптимизации с использованием роя частиц" возможностью обработки нечетких чисел с треугольным представлением. Современные многоагентные методы адаптивного поиска решений задач оптимизации, развиваются в направлении совершенствования способов взаимодействия между агентами. Например, известный метод "оптимизации с использованием роя частиц" (Particle Swarm Optimization, PSO) базируется на понятии популяции и моделирует поведение птиц в стае и косяков рыб. При этом классические биоинспирированные методы поиска решений оперируют, как правило, с четкими решениями. Разработана модификация PSO- алгоритма, за счет выполнения известных операций над нечеткими числами с треугольным представлением. Отличительной чертой предлагаемого подхода является организация интеллектуального процесса поиска в нечетком пространстве решений, оригинальность которого заключается в разработке способа движения интеллектуального агента (группы агентов) в пространстве образованном треугольным представлением нечетких чисел. Данный подход позволяет осуществлять поиск решений в нечетких пространствах, оперируя переменными вида "близко к X " не прибегая к лингвистическому анализу.

**Key words:** треугольное представление, расплывчатые оценки, оптимизация, метод роя, нечеткие множества, адаптация, эволюционный метод, область поиска, нечеткие операции, интеллектуальные алгоритмы

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). Предлагаемый подход. Полученное на модели четкое решение, подразумевает возможность наличия проблем с переносом абстрактных решений на реальные технологические процессы по причинам связанным с дискретностью оборудования, погрешностью модели, изменениями в сопутствующих процессах и т.д. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразно рассматривать каждое точечное решении в контексте его окрестности в какой-то степени, также являющейся решением задачи. При использовании треугольного представления каждое исходное нечеткое число, а также результат операции над ними описываются тремя скалярными значениями, что существенно упрощает вычислительный процесс [9]. где a,b,a′,b′ - границы слагаемых нечетких чисел. Если  декодер определен как нечеткое число с треугольным представлением, а da и db соответственно нижняя и верхняя границы функции принадлежности, а D точка, в которой значение функции принадлежности равно единице, тогда реализацией метода отрицательного отбора (одной из "граней" иммунного метода) [10-11] является сопоставление чисел  и .

**Key words part:** 0.5925925925925926

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). Предлагаемый подход. Полученное на модели четкое решение, подразумевает возможность наличия проблем с переносом абстрактных решений на реальные технологические процессы по причинам связанным с дискретностью оборудования, погрешностью модели, изменениями в сопутствующих процессах и т.д. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразно рассматривать каждое точечное решении в контексте его окрестности в какой-то степени, также являющейся решением задачи. Если  декодер определен как нечеткое число с треугольным представлением, а da и db соответственно нижняя и верхняя границы функции принадлежности, а D точка, в которой значение функции принадлежности равно единице, тогда реализацией метода отрицательного отбора (одной из "граней" иммунного метода) [10-11] является сопоставление чисел  и .

**Key words part:** 0.5555555555555556

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** Начальное состояние частицы i в нулевой момент времени описывается кортежем Xi(0)=<xi,1(0), xi,2(0),…, xi,j(0),…, xi,N(0)>. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. где – степень принадлежности  множеству ; – объединение по всем ;  означает, что степень принадлежности x множеству  равна . где a,b,a′,b′ - границы слагаемых нечетких чисел. Значения C, a′′,b′′, характеризующие нечеткое число , определяются равенствами С=A+B, a′′= a+ a′; b′′=b+ b′.

**Key words part:** 0.4444444444444444

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** Начальное состояние частицы i в нулевой момент времени описывается кортежем Xi(0)=<xi,1(0), xi,2(0),…, xi,j(0),…, xi,N(0)>. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. Нечеткое число  также можно описать кортежем:. В соответствии с формулами (6) и (7) формула (2) примет вид:. где a,b,a′,b′ - границы слагаемых нечетких чисел.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** Перемещения частиц внутри области поиска, обуславливаются их природным стремлением конкурировать между собой. С помощью кортежа Xi(t)=<xi,1(t), xi,2(t), …, xi,j(t), …, xi,N(t)> можно обозначить позицию i-ой  частицы в пространстве поиска решений в момент времени t. Полученное на модели четкое решение, подразумевает возможность наличия проблем с переносом абстрактных решений на реальные технологические процессы по причинам связанным с дискретностью оборудования, погрешностью модели, изменениями в сопутствующих процессах и т.д. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразно рассматривать каждое точечное решении в контексте его окрестности в какой-то степени, также являющейся решением задачи. Функция принадлежности к нечеткому числу имеет две границы: верхнюю и нижнюю, поэтому нормальное выпуклое нечеткое число можно записать в виде [9]:. где a, b –нижняя и верхняя границы функции принадлежности,  функция принадлежности на участке [a;A], - функция принадлежности на участке [A;b]. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:. где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой  значение функции принадлежности  нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска. где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой значение функции принадлежности нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска.

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** Перемещения частиц внутри области поиска, обуславливаются их природным стремлением конкурировать между собой. С помощью кортежа Xi(t)=<xi,1(t), xi,2(t), …, xi,j(t), …, xi,N(t)> можно обозначить позицию i-ой  частицы в пространстве поиска решений в момент времени t. Полученное на модели четкое решение, подразумевает возможность наличия проблем с переносом абстрактных решений на реальные технологические процессы по причинам связанным с дискретностью оборудования, погрешностью модели, изменениями в сопутствующих процессах и т.д. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразно рассматривать каждое точечное решении в контексте его окрестности в какой-то степени, также являющейся решением задачи. Функция принадлежности к нечеткому числу имеет две границы: верхнюю и нижнюю, поэтому нормальное выпуклое нечеткое число можно записать в виде [9]:. где a, b –нижняя и верхняя границы функции принадлежности,  функция принадлежности на участке [a;A], - функция принадлежности на участке [A;b].

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** Например, условие "масса проектируемого изделия должна быть около 320 грамм" подразумевает, что нечеткими могут быть  требования, связанные с массой составляющих изделие деталей. В подобных ситуациях актуальной становится проблема поиска решений в нечетких пространствах. Например, известный метод "оптимизации с использованием роя частиц" (Particle Swarm Optimization, PSO) базируется на понятии популяции и моделирует поведение птиц в стае и косяков рыб [5-8]. Выбор траектории движения осуществляются частицей на основе личного опыта, а также опыта её соседей. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход. В соответствии с формулами (6) и (7) формула (2) примет вид:.

**Key words part:** 0.5925925925925926

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** С помощью кортежа Xi(t)=<xi,1(t), xi,2(t), …, xi,j(t), …, xi,N(t)> можно обозначить позицию i-ой  частицы в пространстве поиска решений в момент времени t. В разновидности gbest PSO-метода каждая частица тяготеет к лучшему решению целого роя, поэтому скорость i-ой частицы в j-ом измерении определяется по формуле:. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. где  –часть нечеткого решения , соответствующая положению i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска в момент времени t. Данный подход позволяет осуществлять поиск решений в нечетких пространствах, оперируя переменными вида "близко к X ", не прибегая к лингвистическому анализу. Таким образом, отличительной чертой предлагаемого подхода является организация интеллектуального процесса поиска в нечетком пространстве решений, оригинальность которого заключается в разработке способа движения интеллектуального агента (группы агентов) в пространстве образованном треугольным представлением нечетких чисел.

**Key words part:** 0.5925925925925926

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Классический метод роя базируется на представлении процесса поиска решения N-мерной оптимизационной задачи, как движения частицы (группы частиц) в N-мерном пространстве, координаты которой можно описать вектором (кортежем) X=<x1, x2,…, x,j,…, xN> [8]. Позиция i-ой  частицы в пространстве поиска решений изменяется добавлением скорости Vi(t)=<vi,1(t), vi,2(t),…, vi,N(t)> к текущей позиции:. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. Если  декодер определен как нечеткое число с треугольным представлением, а da и db соответственно нижняя и верхняя границы функции принадлежности, а D точка, в которой значение функции принадлежности равно единице, тогда реализацией метода отрицательного отбора (одной из "граней" иммунного метода) [10-11] является сопоставление чисел  и .

**Key words part:** 0.6296296296296297

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Современные многоагентные методы адаптивного поиска решений задач оптимизации развиваются в направлении совершенствования способов взаимодействия между агентами [1-3]. Выбор траектории движения осуществляются частицей на основе личного опыта, а также опыта её соседей. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). где: vi,j(t)- скорость i-ой частицы в j-ом измерении в момент времени t; xij(t)  - координаты частицы i в измерении j; c1 и c2 – положительные константы ускорения, варьирующие когнитивную и социальную компоненты скорости частицы; r1j  и r2j - случайные переменные, принимающие значения 0 или 1; yi,j(t)- координата наилучшей достигнутой позиции частицы i в j-ом измерении; y\*j(t)- координата наилучшей достигнутой позиции роя в j-ом измерении. Значения C, a′′,b′′, характеризующие нечеткое число , определяются равенствами С=A+B, a′′= a+ a′; b′′=b+ b′.

**Key words part:** 0.5925925925925926

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** В ней усилены составляющие, отвечающие за анализ области поиска и выход из локальных оптимумов. В подобных ситуациях актуальной становится проблема поиска решений в нечетких пространствах. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** Функция принадлежности к нечеткому числу имеет две границы: верхнюю и нижнюю, поэтому нормальное выпуклое нечеткое число можно записать в виде [9]:. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:. где  - скорость которая должна быть добавлена к частице ; - скорость описывающая изменение направления в котором должна двигаться i-ая частица вдоль j-ой оси области поиска. В качестве степени близости можно использовать удаленность C, a′′,b′′ от D, da и db.

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Выбор траектории движения осуществляются частицей на основе личного опыта, а также опыта её соседей. В случае, если область определения носит нечеткий характер, процедура функционирования алгоритма должна быть модифицирована, например, за счет выполнения известных операций над нечеткими числами с треугольным представлением. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:.

**Key words part:** 0.6296296296296297

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Например, условие "масса проектируемого изделия должна быть около 320 грамм" подразумевает, что нечеткими могут быть  требования, связанные с массой составляющих изделие деталей. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Например, условие "масса проектируемого изделия должна быть около 320 грамм" подразумевает, что нечеткими могут быть  требования, связанные с массой составляющих изделие деталей. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1). vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). Предлагаемый подход. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**Simple\_PageRank/:** Классический метод роя базируется на представлении процесса поиска решения N-мерной оптимизационной задачи, как движения частицы (группы частиц) в N-мерном пространстве, координаты которой можно описать вектором (кортежем) X=<x1, x2,…, x,j,…, xN> [8]. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:. По аналогии с формулой (6) позиция i-ой  частицы в пространстве поиска решений будет изменяться добавлением к текущей позиции скорости:. Так как С определяется суммой A и B, нечеткое число, полученное в результате арифметической операции, можно определить не проводя лингвистического анализа в силу того, что известно при каком значении x функция принадлежности равна единице. Если  декодер определен как нечеткое число с треугольным представлением, а da и db соответственно нижняя и верхняя границы функции принадлежности, а D точка, в которой значение функции принадлежности равно единице, тогда реализацией метода отрицательного отбора (одной из "граней" иммунного метода) [10-11] является сопоставление чисел  и . Данный подход позволяет осуществлять поиск решений в нечетких пространствах, оперируя переменными вида "близко к X ", не прибегая к лингвистическому анализу.

**Key words part:** 0.6666666666666666

=================================

**TextRank/:** С помощью кортежа Xi(t)=<xi,1(t), xi,2(t), …, xi,j(t), …, xi,N(t)> можно обозначить позицию i-ой  частицы в пространстве поиска решений в момент времени t. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:. где  –часть нечеткого решения , соответствующая положению i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска в момент времени t. где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой  значение функции принадлежности  нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска. где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой значение функции принадлежности нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска. Таким образом, отличительной чертой предлагаемого подхода является организация интеллектуального процесса поиска в нечетком пространстве решений, оригинальность которого заключается в разработке способа движения интеллектуального агента (группы агентов) в пространстве образованном треугольным представлением нечетких чисел.

**Key words part:** 0.5555555555555556

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** Классический метод роя базируется на представлении процесса поиска решения N-мерной оптимизационной задачи, как движения частицы (группы частиц) в N-мерном пространстве, координаты которой можно описать вектором (кортежем) X=<x1, x2,…, x,j,…, xN> [8]. Начальное состояние частицы i в нулевой момент времени описывается кортежем Xi(0)=<xi,1(0), xi,2(0),…, xi,j(0),…, xi,N(0)>. Позиция i-ой  частицы в пространстве поиска решений изменяется добавлением скорости Vi(t)=<vi,1(t), vi,2(t),…, vi,N(t)> к текущей позиции:. В разновидности gbest PSO-метода каждая частица тяготеет к лучшему решению целого роя, поэтому скорость i-ой частицы в j-ом измерении определяется по формуле:. При использовании треугольного представления каждое исходное нечеткое число, а также результат операции над ними описываются тремя скалярными значениями, что существенно упрощает вычислительный процесс [9]. где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой  значение функции принадлежности  нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска. Сложение двух нечетких чисел определяется как [9]:. Так как С определяется суммой A и B, нечеткое число, полученное в результате арифметической операции, можно определить не проводя лингвистического анализа в силу того, что известно при каком значении x функция принадлежности равна единице.

**Key words part:** 0.6666666666666666

=================================

**Текст:** Современные многоагентные методы адаптивного поиска решений задач оптимизации развиваются в направлении совершенствования способов взаимодействия между агентами [1-3]. Например, в [3] предложена модификация алгоритма искусственной пчелиной колонии (Artificial Bee Colony) для решения задач оптимизации. В ней усилены составляющие, отвечающие за анализ области поиска и выход из локальных оптимумов. Одной из составляющих алгоритма явлется использование поиска на основе золотого сечения (Golden Section Search strategy). Критерием завершения работы алгоритма является получение решения, удовлетворяющего заданным условиям, или выполнение заданного числа итераций.. Известно, что для одних и тех же проектных процедур в одних случаях необходимо получать точные решения, а в других достаточно получения приближенных решений [4]. Под приближенным решением можно понимать некоторую область точек, каждая из которых может быть решением задачи. Например, условие «масса проектируемого изделия должна быть около 320 грамм» подразумевает, что нечеткими могут быть  требования, связанные с массой составляющих изделие деталей.  В подобных ситуациях актуальной становится проблема поиска решений в нечетких пространствах. Классические биоинспирированные методы поиска решений оперируют, как правило, с четкими решениями. Например, известный метод «оптимизации с использованием роя частиц» (Particle Swarm Optimization, PSO) базируется на понятии популяции и моделирует поведение птиц в стае и косяков рыб [5-8]. Стратегия поведения особей (частиц) в популяции (рое) состоит в стремлении превзойти достижения соседних частиц и улучшить собственные. Перемещения частиц внутри области поиска, обуславливаются их природным стремлением конкурировать между собой. Выбор траектории движения осуществляются частицей на основе личного опыта, а также опыта её соседей.. . Классический метод роя базируется на представлении процесса поиска решения N-мерной оптимизационной задачи, как движения частицы (группы частиц) в N-мерном пространстве, координаты которой можно описать вектором (кортежем) X=<x1, x2,…, x,j,…, xN> [8]. Значение каждого элемента кортежа определяет четкое решение в соответствующей размерности пространства. С помощью кортежа Xi(t)=<xi,1(t), xi,2(t), …, xi,j(t), …, xi,N(t)> можно обозначить позицию i-ой  частицы в пространстве поиска решений в момент времени t. Целью алгоритма является определение кортежа Xi(t), для которого:. (1). Процесс поиска решений данным подходом начинается с генерации частиц. Начальное состояние частицы i в нулевой момент времени описывается кортежем Xi(0)=<xi,1(0), xi,2(0),…, xi,j(0),…, xi,N(0)>.. Позиция i-ой  частицы в пространстве поиска решений изменяется добавлением скорости Vi(t)=<vi,1(t), vi,2(t),…, vi,N(t)> к текущей позиции:. Xi(t + 1) = Xi(t) + Vi(t + 1).                         (2). В разновидности gbest PSO-метода каждая частица тяготеет к лучшему решению целого роя, поэтому скорость i-ой частицы в j-ом измерении определяется по формуле:. vi,j(t+1) = vi,j(t)+c1r1,j(t)[yi,j(t)-xi,j(t)] +c2r2,j(t)[y\*j(t)-xi,j(t)], (3). где: vi,j(t)- скорость i-ой частицы в j-ом измерении в момент времени t; xij(t)  - координаты частицы i в измерении j; c1 и c2 – положительные константы ускорения, варьирующие когнитивную и социальную компоненты скорости частицы; r1j  и r2j - случайные переменные, принимающие значения 0 или 1; yi,j(t)- координата наилучшей достигнутой позиции частицы i в j-ом измерении; y\*j(t)- координата наилучшей достигнутой позиции роя в j-ом измерении.. Предлагаемый подход. Полученное на модели четкое решение, подразумевает возможность наличия проблем с переносом абстрактных решений на реальные технологические процессы по причинам связанным с дискретностью оборудования, погрешностью модели, изменениями в сопутствующих процессах и т.д. Поэтому, в некоторых случаях, целесообразно рассматривать каждое точечное решении в контексте его окрестности в какой-то степени, также являющейся решением задачи.. В случае, если область определения носит нечеткий характер, процедура функционирования алгоритма должна быть модифицирована, например, за счет выполнения известных операций над нечеткими числами с треугольным представлением. При использовании треугольного представления каждое исходное нечеткое число, а также результат операции над ними описываются тремя скалярными значениями, что существенно упрощает вычислительный процесс [9].. Нечеткое число  (близко к А) может быть выражено как [9]:. (4). где – степень принадлежности  множеству ; – объединение по всем ;  означает, что степень принадлежности x множеству  равна .. Функция принадлежности к нечеткому числу имеет две границы: верхнюю и нижнюю, поэтому нормальное выпуклое нечеткое число можно записать в виде [9]:. (5). где a, b –нижняя и верхняя границы функции принадлежности,  функция принадлежности на участке [a;A], - функция принадлежности на участке [A;b].. С учетом формулы (5) позицию i-ой  частицы в нечетком пространстве поиска решений в момент времени t обозначим как кортеж нечетких чисел, представленных в треугольной форме:. (6). где  –часть нечеткого решения , соответствующая положению i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска в момент времени t.. В свою очередь:. . где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой  значение функции принадлежности  нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего положение i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска.. По аналогии с формулой (6) позиция i-ой  частицы в пространстве поиска решений будет изменяться добавлением к текущей позиции скорости:. (7). где  - скорость которая должна быть добавлена к частице ; - скорость описывающая изменение направления в котором должна двигаться i-ая частица вдоль j-ой оси области поиска.. . Нечеткое число  также можно описать кортежем:. . где  - нижняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска;  - точка в которой значение функции принадлежности нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска равно единице;  - верхняя граница нечеткого числа, описывающего изменение положения i-ой частицы на j-ой оси пространства поиска.. В соответствии с формулами (6) и (7) формула (2) примет вид:. . Сложение двух нечетких чисел определяется как [9]:. . где a,b,a′,b′ - границы слагаемых нечетких чисел.. Значения C, a′′,b′′, характеризующие нечеткое число , определяются равенствами С=A+B, a′′= a+ a′; b′′=b+ b′. Тогда [9]:. . Так как С определяется суммой A и B, нечеткое число, полученное в результате арифметической операции, можно определить не проводя лингвистического анализа в силу того, что известно при каком значении x функция принадлежности равна единице.. Если  декодер определен как нечеткое число с треугольным представлением, а da и db соответственно нижняя и верхняя границы функции принадлежности, а D точка, в которой значение функции принадлежности равно единице, тогда реализацией метода отрицательного отбора (одной из «граней» иммунного метода) [10-11] является сопоставление чисел  и . В качестве степени близости можно использовать удаленность C, a′′,b′′ от D, da и db.. Заключение. За счет модификации PSO-алгоритма разработан подход, оперирующий с треугольным представлением нечетких чисел. При использовании треугольного представления каждое исходное нечеткое число, а также результат операции над ними описываются тремя скалярными значениями, что существенно упрощает вычислительный процесс. Данный подход позволяет осуществлять поиск решений в нечетких пространствах, оперируя переменными вида «близко к X », не прибегая к лингвистическому анализу. Таким образом, отличительной чертой предлагаемого подхода является организация интеллектуального процесса поиска в нечетком пространстве решений, оригинальность которого заключается в разработке способа движения интеллектуального агента (группы агентов) в пространстве образованном треугольным представлением нечетких чисел..