

УДК 004.021

## **Метод информационной поддержки принятия решений реализуемый в среде мультиагентной системы**

**Голомазов А.В.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

[milord-company@yandex.ru](mailto:milord-company@yandex.ru)

***Статья поступила 03.07.2019***

### **Аннотация**

В работе рассматривается построение метода многокритериальной оценки и выбор предпочтительных решений по реализации транспортно-логистических процессов в условиях проявления риска и конфликтных ситуаций. При построении метода были реализованы принципы системного анализа и синтеза, способствующие созданию рациональных структурно-функциональных компонентов создаваемой информационной поддержки принятия решений в среде мультиагентной системы (ИППР МАС). В работе на основе предпочтительных компромиссов детерминированного и нечёткого выбора рассматривается актуальная задача повышения эффективности ИППР при реализации ТЛП в ситуациях риска и конфликта решаемая в составе МАС транспортной логистики.

**Ключевые слова:** конфликт, риск, ситуация, принятие решений, метод, модель, критерий, ограничения, логистика, агент.

В настоящее время наблюдается высокая динамика индустриализации транспортно-логистических процессов различных уровней классификации начиная от 1PL до 4PL и более.

Структурная сложность информационной поддержки принятия решений (ИППР) [1-4] транспортно-логистических процессов (ТЛП), многокритериальность оценки состояний рынка транспортных услуг и выбора предпочтительных решений взаимодействующими субъектами (клиентами), ситуации риска и конфликта формируют актуальную задачу по совершенствованию моделей и алгоритмов ИППР ТЛП как многообъектных многокритериальных взаимосвязанных структурных компонентов.

Анализ материалов исследования компаний WMS Workhouse management system, «Солво», InStock WMS (IsWMS), Норбит, iSolutions, «SunFlouwer-M», ГК «Корус Консалтинг», «Техносерв», «Крок», «Корус» и др. свидетельствует о необходимости совершенствования информационных систем в цепи «складские терминалы – транспортные средства – маршруты – грузы —время- персонал-эффективность» [5-7].

Указанные условия подтверждают необходимость совершенствования исследования на стыке теории управления, теории исследования операций, теории игр, рисков и принятия решений в направлении оптимизации управления ТЛП на основе интеллектуализации ИППР в программно-технической среде мультиагентных систем (МАС) [13-23].

Поэтому исследование путей развития и применения системных подходов при совершенствовании ИППР МАС [24-27] в условиях конфликтного взаимодействия множества (роя) заказчиков и перевозчиков в цепи «складские терминалы – транспортные средства -маршруты – грузы —время- персонал- эффективность» и учитывая принципы создания классификации 5PL представляется особо актуальным.

Результаты исследования состояний реализации ТЛП некоторых из приведённых выше компаний свидетельствуют о нецелесообразности рассмотрения частей отдельно от целого и что большинство явлений негативного характера (срывы поставок, низкое качество обслуживания, неконкурентоспособность продукции) являются лишь следствием ряда причин.

При построении метода учитывалось, что в его основу положены четкое и последовательное применение строго регламентированных логических принципов и методов с одной стороны, и использование опыта, и интуиция лица, принимающего решение (ЛПР), с другой.

При этом показана необходимость отражения непрерывно изменяющихся состояний объектов предметных областей ТЛП, требующая обоснования основополагающих принципов [28-30] выбора рационального пространства переменных, критериев и ограничений, обеспечивающих удовлетворение информационных потребностей пользователя (ИПП) с заданным уровнем качества.

На основании учета принципов системного анализа (СА) и результатов исследования состояний реализации ТЛП в различных компаниях в разработанном

методе ИППР учитывается реализация управления ТЛП в условиях риска и конфликтов.

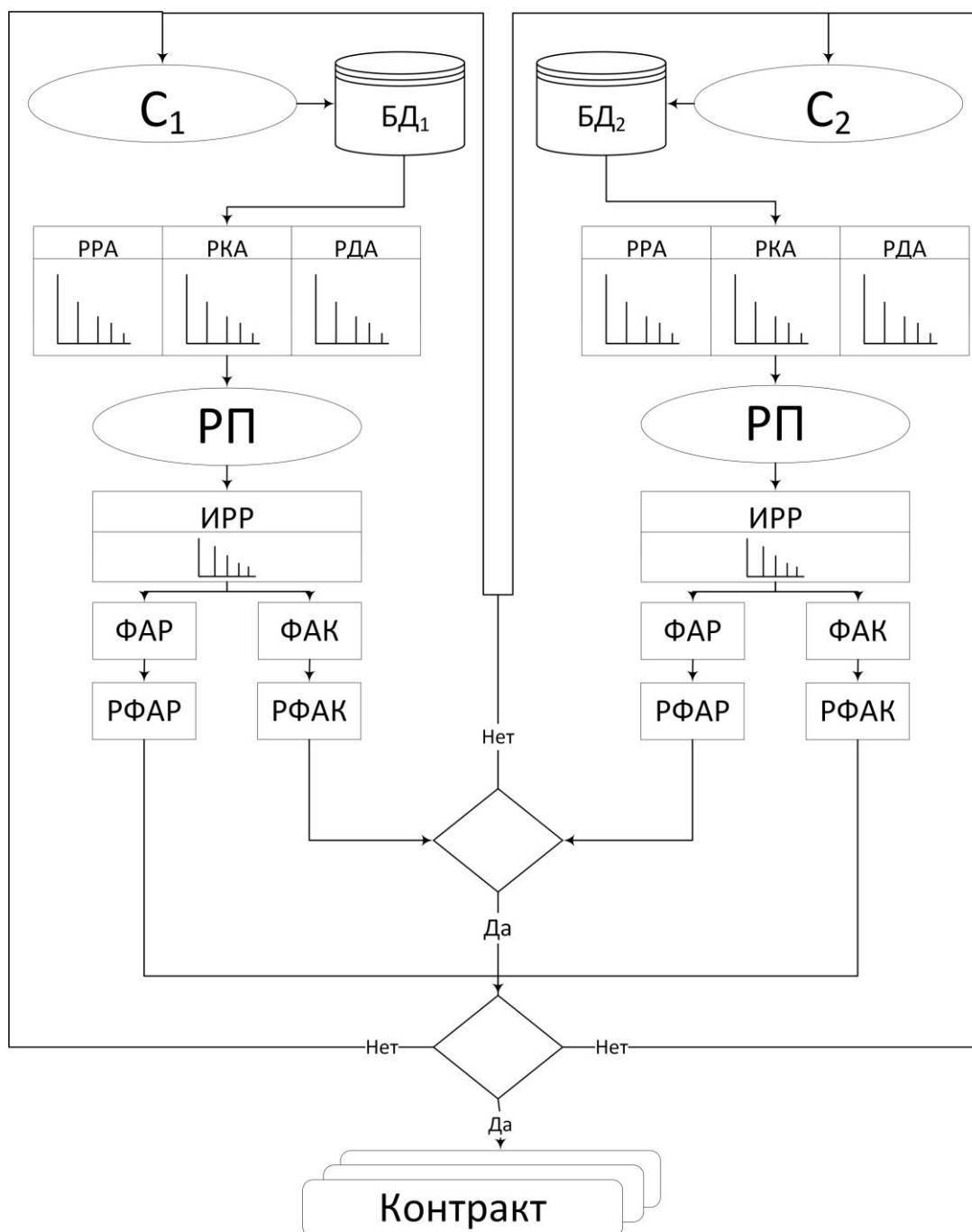


Рис. 1. Метод принятия решений на основе переговорного процесса

**Обозначения:**

$C_1$  – субъект 1 (Грузоотправитель),  $C_2$  – субъект 2 (Перевозчик),  
**РРА** – результаты регрессионного анализа, **РКА** – результаты корреляционного анализа, **РДА** – результаты дисперсионного анализа,  
**РП** – решающее правило, **ИРР** – интегрированный ряд регрессии,  
**ФАР** – функциональные агенты риска, **ФАК** – функциональные агенты конфликта

На рис 1. показана реализация метода, в котором на основании статистических данных, взаимодействующими субъектами  $C_1$  и  $C_2$ , сосредоточенных в БД<sub>1</sub> и БД<sub>2</sub>, позволяющих осуществить: выбор предпочтительного состава факторов (критериев) оценки и выбора решений с субъектами  $C_1$  и  $C_2$  соответственно;

На основании сформулированных на экспертной основе и нечёткой логике решающих правил (РП) сформировать интегральный ранжированный (ИР) ряд этих факторов; осуществить создание и выбор моделей и алгоритмов функциональных агентов риска (ФАР) и конфликтов (ФАК) субъектов  $C_1$  и  $C_2$  соответственно; осуществить разработку алгоритмов и их программную реализацию для условий риска (РФАР) и конфликта (РФАК)  $C_1$  и  $C_2$  соответственно; осуществить оценку степени приближения к состоянию консенсуса взаимодействующих субъектов  $C_1$  и  $C_2$  и, в случае его достижения, сформулировать условия и заключить договор на перевозку, или другую операцию ТЛП.

Из рисунка 1 следует, что разработанный метод ИППР МАС позволяет: выполнить формирование критериального пространства выбора предпочтительных вариантов реализации ТЛП взаимодействующими субъектами; осуществить поиск предпочтительного варианта ИППР для двух и более взаимодействующих субъектов одновременно; формировать ИППР на всех этапах реализации цепи поставок, с учётом потенциального риска и\или конфликта; поддерживать информационное взаимодействие взаимодействующих субъектов ТЛ в реальном масштабе времени.

В составе метода ИППР МАС разработан алгоритм выбора предпочтительного состава факторов состояния и рациональных вариантов решений.

Предложенный алгоритм включает следующие шаги:

шаг 1. Выполнить анализ генеральной выборки статистических данных сферы ТЛПП процессов;

шаг 2. Используя репрезентативную выборку значений показателей, характеризующих ТЛП, полученную на шаге 1, осуществить оценку  $Z_{ij}$  значимости  $i$ -го показателя для  $j$ -го ЛПР (Грузообладателей и Перевозчиков)  $l_j$ ,  $j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}$  (табл.1).

шаг 3. Составить ранжированный ряд путем сортировки таблицы по сумме значений  $i$ -й оценки, назначенной  $j$ -ым ЛПР, т.е. по соответствующим значениям в строках табл.1.

Таблица 1 Оценки «веса» факторов

$l_j$	$l_1$	$l_2$	...	$l_j$	...	$l_J$
$\acute{o}_1$	$z_{11}$	$z_{12}$	...	$z_{1j}$	...	$z_{1J}$
$\acute{o}_2$	$z_{21}$	$z_{22}$	...	$z_{2j}$	...	$z_{2J}$
...	...	...	...	...	...	...
$\acute{o}_i$	$z_{i1}$	$z_{i2}$		$z_{ij}$		$z_{iJ}$
...	...	...	...	...	...	...
$\acute{o}_I$	$z_{I1}$	$z_{I2}$		$z_{Ij}$		$z_{IJ}$

шаг 4. Рассчитать значения: математического ожидания; дисперсии; среднеквадратического отклонения. Результатом этих шагов является предварительный состав показателей-индикаторов ТЛП.

Для дальнейшего исследования в работе одновременно применены методы [8-12] регрессионного, дисперсионного и корреляционного анализа.

Для повышения адекватности модели сформировано три выборки по алгоритму, включающему следующие шаги.

шаг 1. Установить номер фактора-индикатора  $\omega_i$ ,  $i=1$ .

шаг 2. Установить номер очередного значения случайной величины в выборке  $j=1$ .

шаг 3. Вычислить случайное число  $s$  (порядковый номер значения  $i$ -го фактора) в диапазоне  $[1, N]$ ,  $N$  – объем генеральной выборки.

шаг 4. Ввести в таблицу выборки  $T$  значение  $T_{ij} = \Gamma_{si}$ ,  $i = \overline{1, 10}$ ,  $j = \overline{1, v}$ , где номером значения фактора в выборке  $j = \overline{1, v}$  является случайное число  $s = \overline{1, N}$ ,  $\Gamma_{si}$  – «мощность» таблицы генеральной совокупности.

шаг 5. Увеличить индекс  $j$  на 1,  $j=j+1$ .

шаг 6. Проверить выполнение условия  $i \geq 40$ , если нет, то перейти к шагу 3.

шаг 7. Увеличить индекс  $i$  на 1,  $i=i+1$ .

шаг 8. Проверить условие  $i > 10$ , если  $i \leq 10$ , то перейти к шагу 1.

Расчеты, полученные в результате регрессионного, корреляционного и дисперсионного анализа, которые затем обрабатываются в соответствии с предложенным в работе алгоритмом синтеза результатов расчетов, включающим следующие шаги.

шаг 1. Объединить результаты всех методов исследования в таблицу 2.5

шаг 2. Отсортировать значения в таблице 2.5 в порядке возрастания суммарного значения рангов.

шаг 3. Получить итоговые значения степени влияния каждого из  $i$ -х факторов  $\omega_i$  на целевой параметр перевозки  $Y$  с учетом решающих правил и экспертных оценок ЛПР.

Таблица 2. Оценка общих значений рангов

Фактор	Ранг			Общий ранг
	Регрессионный	Корреляционный	Дисперсионный	
$\omega_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{10}^0$
$\omega_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	$r_{20}^0$
$\omega_3$	...	...	...	...
$\omega_4$	$r_{i1}$	$r_{i2}$	$r_{i3}$	$r_{i0}^0$
$\omega_5$	...	...	...	...
$\omega_6$	$r_{N1}$	$r_{N2}$	$r_{N3}$	$r_{N0}^0$

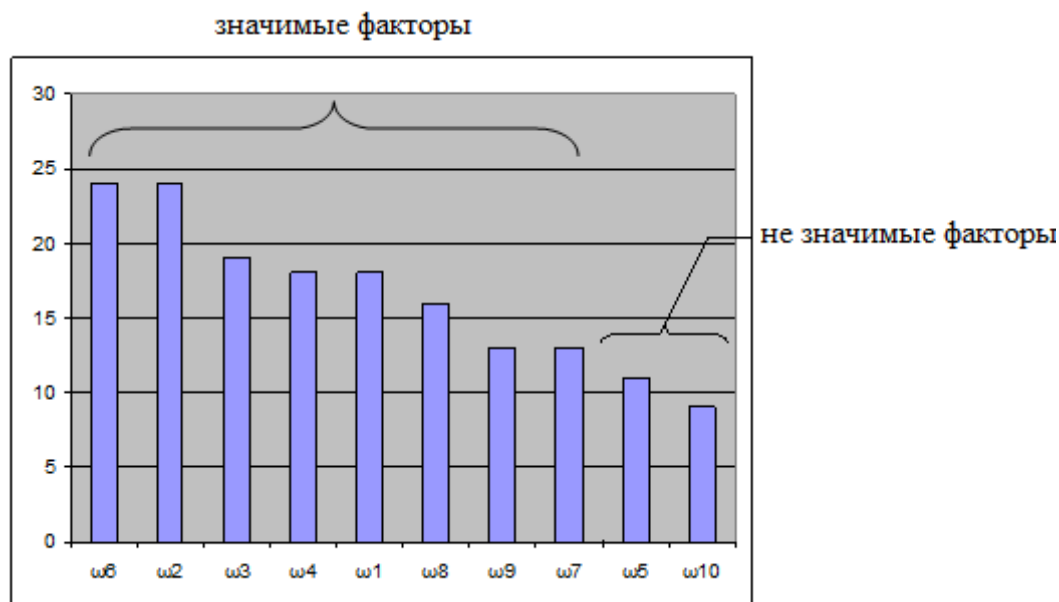


Рис. 2. Интегральный ранжированный ряд ранжирования факторов оценки состояния ТЛП и выбора предпочтительных решений

Указанные шаги выбора реализуются одновременно для каждого «роя», взаимодействующего субъектов с учетом состояния актуализации БД и предпочтений каждого из них.

В составе метода выбраны и обоснованы модели и построены алгоритмы создания функциональных агентов, учитывающих условия потенциального риска и



конфликтных ситуаций. Приведена модель поиска предпочтительного решения взаимодействующими субъектами применительно к задачам ТЛП. Показано, что поиск предпочтительных решений может быть представлен следующим образом.

Пусть  $X_1 = (x_i^1)$  и  $X_2 = (x_j^2)$  множество альтернативных вариантов решений Грузоотправителя (Г) и Перевозчика (П) соответственно. Нечеткие цели Г и П соответственно -  $Z_1, Z_2$  будем отождествлять с нечётким множеством (НМ)  $x \in X_1, Z_2 \in X_2$ .

При этом, если альтернативами решений Грузоотправителя и Перевозчика являются действительные числа, т.е.  $X_1 = R, X_2 = R$ , а нечёткая цель (НЦ)  $Z_1$  сформулировано как « $x_1$  должно быть около 10», а НЦ  $Z_2$  как « $x_2$  должно быть около 12» то ее можно представить функцией принадлежности (ФП)

$$\mu_{Z_1}(X_1) = \frac{1}{1 + (X_1 - 10)^2} \text{ для Грузоотправителя} \quad (1)$$

$$\mu_{Z_2}(X_2) = \frac{1}{1 + (X_2 - 10)^2} \text{ для Перевозчика} \quad (2)$$

Нечеткое ограничение  $G_1$  на универсальном множестве  $X_1$ , и НО  $G_2$  на универсальном множестве  $X_2$  может быть, например:  $x_1$  больше 8 при  $X_1 = R$  и представлено НМ с такими ФП как

$$\mu_{G_1}(X_1) = \begin{cases} 0, \text{ если } X_1 < 5 \\ \frac{1}{1 + \exp(-0.8)(X_1 - 8)} \end{cases}, \text{ при } x_1 \geq 5 \quad (3)$$

для Грузоотправителя,

$$\mu_{G_2}(X_2) = \begin{cases} 0, \text{если } X_2 < 7 \\ \frac{1}{1 + \exp(-0.8)(X_2 - 10)}, \text{при } x_2 \geq 7 \end{cases} \quad (4)$$

для Перевозчика.

Нечеткое решение  $\tilde{D}_1$  - Грузоотправителя,  $\tilde{D}_2$  - Перевозчика на универсальном множестве альтернатив  $X_1$  и  $X_2$  определяются как логические операции «И».  $D_1 = Z_1 \cap G_1$  и  $D_2 = Z_2 \cap G_2$  для Грузоотправителя и перевозчика соответственно.

Представим  $Z_1$  как «х должен быть около 10» и  $G_1$  как «х должно быть больше 8» для Грузоотправителя и  $Z_2$  как «х должно быть около 12» и НО  $G_2$  как «х должен быть больше 12» для Перевозчика.

Нечеткое решение Грузоотправителя,

$$\mu_{D_1}(X_1) = \begin{cases} 0, \text{если } X_1 < 5 \\ \min\left(\frac{1}{1 + \exp(-0.8)(X_1 - 8)}, \frac{1}{1 + (X_1 - 10)^2}\right), \text{если } X_1 \geq 5 \end{cases} \quad (5)$$

и нечёткое решение Перевозчика

$$\mu_{D_2}(X_2) = \begin{cases} 0, \text{если } X_2 < 7 \\ \min\left(\frac{1}{1 + \exp(-0.8)(X_2 - 8)}, \frac{1}{1 + (X_2 - 12)^2}\right), \text{если } X_2 \geq 7 \end{cases} \quad (6)$$

Очевидно, что не существует альтернатив  $D_1$  для Грузоотправителя и Перевозчика, которая полностью удовлетворяют и цели  $G$  и ограничение  $Z$  т.е в нечетком множестве  $\tilde{D}$  нет ни одного элемента с  $\mu_D(X) = 1$  и, следовательно,

выбирают альтернативу с максимальным значением степени принадлежности нечеткому множеству  $X$ .

Взаимосвязь нечёткой цели, нечёткого отношения и нечёткого решения приведена на Рис.3.

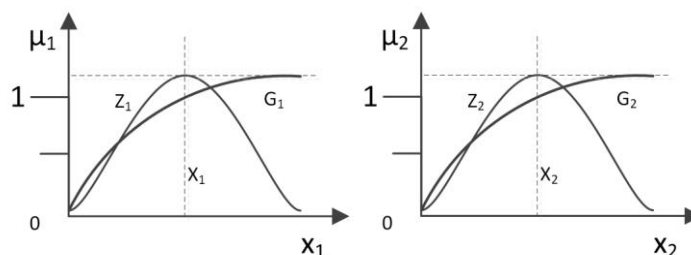


Рис. 3. Взаимосвязь нечетких  $Z$ ,  $G$  и  $X$ .

### Анализ альтернатив решений

Пусть множество альтернатив Грузоотправителя  $X_1$  и Перевозчика  $X_2$  задано

$$X_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_k^1) \text{ и } X_2 = (x_1^2, x_2^2, \dots, x_p^2), \quad (7)$$

а так же задано: множество критериев Грузоотправителя  $K_1$  и Перевозчика  $K_2$

$$K_1 = (K_1^1, K_2^1, \dots, K_n^1) \text{ и } K_2 = (K_1^2, K_2^2, \dots, K_g^2) \quad (8)$$

Число и наименования критериев и альтернатив Грузоотправителя и Перевозчика может быть, как одинаковым, так и отличающимися. При моделировании следует предусматривать оба варианта. Пусть  $\mu_{z_i^1}(x_j^1)$  – число веса критерия  $[0,1]$ , которое характеризует уровень оценки альтернативы  $x_j^1 \in X_1$  и  $x_g^2 \in X_2$  по критериям  $K_i^1 \in X_1$  и  $K_i^2 \in X_2$ .

Представим критерии  $K_1$  и  $K_2$  в виде НМ  $\tilde{K}_1$  и  $\tilde{K}_2$  на универсальных множествах альтернатив решений  $X_1$  и  $X_2$  соответственно.

Для Грузоотправителя:

$$\tilde{K}_i^1 = \left\{ \frac{\mu_{K_i^1}(x_1^1)}{x_1^1}, \frac{\mu_{K_i^2}(x_2^1)}{x_2^1}, \dots, \frac{\mu_{K_i^k}(x_k^1)}{x_k^1} \right\}, \quad (9)$$

где  $\mu_{K_i^1}(x_j^1)$  – степень принадлежности элемента  $x_j^1$  к нечеткому множеству  $\tilde{K}_i^1$ .

Для Перевозчика

$$\tilde{K}_i^2 = \left\{ \frac{\mu_{K_i^2}(x_1^2)}{x_1^2}, \frac{\mu_{K_i^2}(x_2^2)}{x_2^2}, \dots, \frac{\mu_{K_i^3}(x_p^2)}{x_p^2} \right\}, \quad (10)$$

где  $\mu_{K_i^2}(x_j^2)$  – степень принадлежности элемента  $x_j^2$  к нечеткому множеству  $\tilde{K}_i^2$ .

Для нахождения степени принадлежности НМ применим попарное сравнение по всем критериям  $K_1$  и  $K_2$ , а нечеткое решение  $\tilde{D}$  находится как пересечение частных критериев входящих в множества  $K_1$  и  $K_2$ .

Для Грузоотправителя

$$\tilde{D}_1 = \tilde{K}_1^1 \cap \tilde{K}_2^1 \cap \dots \cap \tilde{K}_n^1 = \left\{ \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^1}(x_1^1)}{x_1^1} \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^2}(x_2^1)}{x_2^1} \times \dots \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^k}(x_k^1)}{x_k^1} \right\} \quad (11)$$

Для Перевозчика

$$\tilde{D}_2 = \tilde{K}_1^2 \cap \tilde{K}_2^2 \cap \dots \cap \tilde{K}_p^2 = \left\{ \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^2}(x_1^2)}{x_1^2} \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^2}(x_2^2)}{x_2^2} \times \dots \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} \mu_{K_i^3}(x_p^2)}{x_p^2} \right\} \quad (12)$$

Приоритетной альтернативе будет соответствовать максимальное значение степени принадлежности. При необходимости учесть «вес» критериев по формуле (9) и (10) и примут вид (11) и (12).

$$\tilde{D}_1 = \left\{ \frac{\min_{i=1, \bar{n}} (\mu_{K_i^1}(x_1^1))^{\alpha_i}}{x_1^1} \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} (\mu_{K_i^2}(x_2^1))^{\alpha_i}}{x_2^1} \times \dots \times \frac{\min_{i=1, \bar{n}} (\mu_{K_i^k}(x_k^1))^{\alpha_i}}{x_k^1} \right\}, \quad (13)$$

$$\tilde{D}_2 = \left\{ \frac{\min_{i=1,\bar{n}} \left( \mu_{K_i^2} (x_1^2) \right)^{\alpha_i^2}}{x_1^2} \times \frac{\min_{i=1,\bar{n}} \left( \mu_{K_i^2} (x_2^2) \right)^{\alpha_i^2}}{x_2^2} \times \dots \times \frac{\min_{i=1,\bar{n}} \left( \mu_{K_i^3} (x_p^2) \right)^{\alpha_i^2}}{x_p^2} \right\}, \quad (14)$$

Далее следует операция сравнение значений  $\tilde{D}_1$  и  $D_2$  и при значительном отличии Грузоотправитель и Перевозчик переходят к повторному (итерационному) переговорному процессу с целью или достижения консенсуса и заключение Договора, или по инициативе одного из них или обоих их диалоговое взаимодействие прекращается или приносится на согласованный срок (дату). Рассмотрено применение этого подхода в ситуации практического взаимодействия сторон «Грузоотправитель-Перевозчик». В целях совершенствования переговорного процесса приведён алгоритм оценки согласованности решений Грузоотправителя и перевозчика с учетом риска

Приведен алгоритм оценки логистических рисков, включающий шаги выбора факторов риска Грузообладателей и исполнителей (Перевозчиков), видов термов логистических переменных и расчет значений риска при выборе приемлемой технологии перевозки.

Для оценки значений риска участников процессов транспортной логистики – Грузоотправитель (Г) и исполнитель (И) определен независимо друг от друга состав факторов риска с целью достижения консенсуса и последующего заключения Договора.

Как правило, экономическая целесообразность, как для Грузоотправителя, так и для Перевозчика, предполагает учет факторов спроса для Грузоотправителя и факторов предложения для Перевозчика, а также определение возможного

совпадения видов факторов. Совпадающие факторы – это прежде всего цена и прибыль, т.е. издержки Грузоотправителя и Перевозчика, а другие факторы определяются независимо друг от друга.

На следующем шаге определяется «вес» этих факторов на основе методов математической статистики – регрессионного, корреляционного, дисперсионного или факторного анализа. Дальнейшие процедуры выполняются в соответствии с алгоритмом (рис. 4).

Далее выполняется расчет меры сходства значения переменной риска перевозки для Грузоотправителя и Перевозчика с каждым из термов ЛП риска, т.е. расчет степени сходства значений  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  с каждым из лингвистических термов риска, определенных Грузоотправителем и Исполнителем.

Степень сходства определяется по следующей формуле

$$S(\varphi_1, \text{term}_1) = \frac{1}{1 + |X_{\varphi_1} - X_{\text{term}_1}| + |\gamma_{\varphi_1} - \gamma_{\text{term}_1}|} \quad (15)$$

для Грузоотправителя

$$S(\varphi_2, \text{term}_2) = \frac{1}{1 + |X_{\varphi_2} - X_{\text{term}_2}| + |\gamma_{\varphi_2} - \gamma_{\text{term}_2}|} \quad (16)$$

для перевозчика.

Учитывая альтернативность решений при выборе технологий перевозки выполнена оценка риска снижения полезности этих технологий перевозки. Структура риска может быть представлена сетевой или иерархической моделью. В результате поиска множества локальных рисков может быть рассчитан и общий, интегрированный риск в виде соотношений их суммирования.

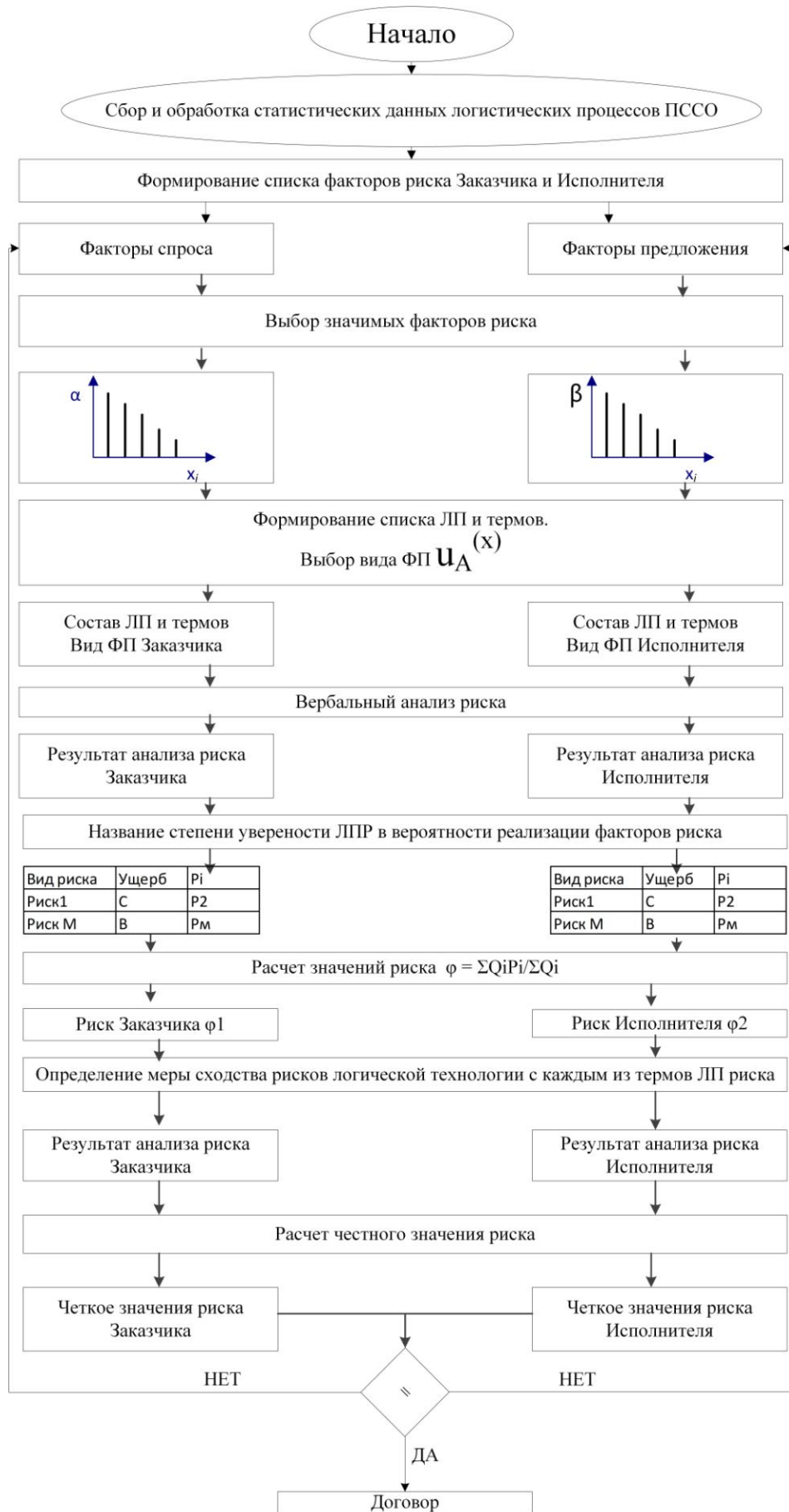


Рис. 4 Обобщенный алгоритм поиска консенсуса взаимодействующих субъектов

Так, применительно к оценке риска на цепи перевозки груза риск можно представить, как:

$$R(w) = Rp + Rd + Rэ, \quad (17)$$

где  $Rp$  – риск, возникший вследствие несовершенства процессов перевозки,  $Rd$  – технологических процессов производства,  $Rэ$  – несовершенством технологии перевозки.

В свою очередь, эти риски включают некоторый состав локальных рисков соответствующей сетевой или иерархической структуре.

$$R_p = \sum_{i=1}^n \dots \sum_e^L r_i, \dots, l \quad (18)$$

$$R_d = \sum_{q=1}^Q \dots \sum_{s=1}^S r_q, \dots, s \quad (19)$$

$$R_э = \sum_{f=1}^F \dots \sum_{t=1}^T r_f, \dots, t \quad (20)$$

где  $r_i, \dots, l$  – локальные риски переговорного процесса;  $r_q, \dots, s$  – локальные риски этапа перевозки,  $r_f, \dots, t$  – локальные риски этапа погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ.

Одним из подходов к разрешению проблемы риска являются создание алгоритмов и принципов, связанных с оценкой риска в нечеткой среде [8].

Нечеткие правила вывода представляются в виде:

$$P_i : \text{если } x_i \text{ есть } A_{ij} \text{ И } \dots \text{ И } x_j \text{ есть } A_{ij} \text{ И } \dots \text{ И } x_m \text{ есть } A_{im},$$

$$\text{ТО } y_i \text{ есть } B_{ij} \text{ И } \dots \text{ И } y_k \text{ есть } B_{ik} \text{ И } \dots \text{ И},$$

$$Y_p \text{ есть } B_{ip}, i = \overline{1, n}, \quad (21)$$



где  $x_i, j = \overline{1, T}$  – входные переменные (четкие и/или нечеткие);  $x_j \in X, X_j$  – область определения соответствующей предпосылки;  $y_k (k = \overline{1, p})$  – нечеткие выходные переменные;  $y_k \in Y_k, Y_k$  – область определения соответствующего заключения.;  $A_{ij}, B_{ik}$  – лингвистические термы определения на  $X_j$  и  $Y_k$  с ФП  $\mu A_{ij}(x_j) \in [0, 1]$  и  $\mu B_{ik}(x_k) \in [0, 1]$  соответственно.

Нечеткие продукционные правила можно представить следующим образом:

$$P_i : \text{если } x_i \text{ есть } A_{ij} \text{ И } \dots \text{И } x_j \text{ есть } A_{ij} \text{ И } \dots \text{И } x_m \text{ есть } A_{im}, \quad (22)$$

$$\text{ТО } y_i \text{ есть } c_i, i = \overline{1, n}$$

где  $c_i$  – действительные числа.

При этом выбор осуществляется среди конечного множества альтернативных ТЛП по нескольким критериям.

В составе интеллектуального ядра ИППР МАС разработаны также алгоритмы и программная реализация следующих функциональных агентов ТЛП на основе: стохастической транспортной задачи; системы массового обслуживания с бесконечной очередью обслуживания и ограниченным временем обслуживания; матричных, биматричных и динамических игр, модели и алгоритма динамического программирования; ряда задач выбора оптимального маршрута; расчета и поддержки страхового запаса, формирования рационального плана (расписания) перевозок др.

**Библиографический список**

1. Жеребин А.М., Кропова В.В. Критериальное обеспечение процессов подготовки и принятия решений при управлении развитием авиационной техники // Труды МАИ. 2012. № 55. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=30133>
2. Бобронников В.Т., Терещенко Т.С. Система поддержки принятия решений для обоснования выбора проектных параметров автономных систем энергоснабжения // Труды МАИ. 2016. № 88. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=70715>
3. Дубовик С.Е., Сошников Д.В. Использование семантических сетей, расширенных деревьями И/ИЛИ для представления структурно-динамических знаний в интеллектуальных системах // Труды МАИ. 2003. № 13. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=34444>
4. Опрышко Н.В., Рубан Н.В. Разработка модели принятия решения в вопросах обновления основных производственных фондов российских промышленных предприятий // Труды МАИ. 2011. № 43. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=24857>
5. Петенев Е.К., Пушилилин С.В., Чемоданов В.Б. Передача информации от множества датчиков к системе управления на борту малозатратных беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2013. № 63. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=36137>
6. Аллилуева Н.В., Руденко Э.М. Математический метод расчета целевой функции на графах и решение задач маршрутизации // Труды МАИ. 2017. № 96. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=85773>

7. Бабенко Е.А. Агентно-ориентированная модель конкуренции на рынке высокотехнологичной продукции (на примере основных производителей самолетов боевой авиации) // Труды МАИ. 2012. № 59. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=34403>
8. Савченко Д.И. Повышение вероятностных характеристик отождествления целевой информации накоплением принимаемых решений // Труды МАИ. 2013. № 69. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=43302>
9. Вишнеков А.В., Курилова Н.С., Сафонова И.Е., Штейнберг В.И. Многоцелевые задачи принятия проектных решений. - М.: МГИЭМ, 2002. - 101 с.
10. Антамошкин О.А. Проектирование высоконадежных систем реального времени // Труды МАИ. 2011. № 45. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=25347>
11. Михайлов В.Ю., Витомский Е.В. Модели для оценки эффективности варианта устройства быстрого поиска по задержке ансамблей кодовых последовательностей // Труды МАИ. 2018. № 98. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90426>
12. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. - М.: Ракурс, 2011. – 11 с.
13. Howard A., Smith B., Egerstedt M. Realization of the sensor web concept for Earth science using mobile robotic platforms // IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana, March 2007.
14. Амелин К.С. Легкий беспилотный летательный аппарат для автономной группы // Стохастическая оптимизация в информатике. 2010. № 6. С. 117 - 126.

15. Chao H. Cooperative Remote Sensing and Actuation Using Networked Unmanned Vehicles, Diss., Utah State University, 2010, available at: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1593&context=etd>
16. Рыжова Т.С. Система управления коллективом мобильных роботов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. №4. С. 45 - 50.
17. Vasarhelyi G., Viragh Cs., Somorjai G., Tarcai N., Nepusz T., Vicsek T. Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2014, pp. 3866 - 3873.
18. Юревич Е.И. Управление роботами и робототехническими системами. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001. - 172 с.
19. Vasarhelyi G., Viragh Cs., Abel D., Tarcai N., Nagy M., Vicsek T. Varkonyi P. Patterns, transitions and the role of leaders in the collective dynamics of a simple robotic flock // Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2011, P04010.
20. Каляев И.А., Шеремет И.А. Военная робототехника: выбор пути // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 2. С. 32 - 34.
21. Скобелев П.О., Царев А.В. Сетецентрический подход к созданию больших мультиагентных систем для адаптивного управления ресурсами в реальном времени // Материалы Международной научно - практической мультиконференции “Управление большими системами” - М.: ИПУ, 2011. С. 263 - 267.
22. Амелин К.С., Граничин О.Н. Мультиагентное сетевое управление группой легких БПЛА // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. № 6. С. 64 - 72.

23. Тюшев К.И. Мультиагентные технологии для построения RAID-подобных распределенных систем хранения данных // Материалы всероссийской научной конференции по проблемам информатики (СПИСОК-2014), Санкт-Петербург, 23 - 25 апреля 2014, С. 477 – 481.
24. Айбазова С.Х. Использование принципа доминирования в рамках синтетического критерия Гурвица для оптимизации издержек логистической системы // Экономика. Предпринимательство. Окружающая среда. 2014. № 1 (57). С. 89 - 100.
25. Айбазова С.Х. Оптимизация логистических издержек в бизнесе с использованием синтетического критерия Гурвица для смешанных стратегий // Экономические науки. 2014. № 4 (113). С. 130 - 139.
26. Айбазова С.Х., Лабскер Л.Г. Оптимизация издержек в логистической системе на основе синтетического критерия Гурвица // Международная научно-практическая конференция «Международная практика экономического развития страны: сборник материалов», (Симферополь, 24 - 25 мая 2013). – Симферополь: Economics, 2013. – С. 144
27. Дроздов А. Коптелов А. Использование средств описания процессов при внедрении корпоративных информационных систем // Проблемы теории и практики управления. 2006. № 10. С. 54 – 70.
28. Сергеева В.И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов. - М.: Инфра-М, 2004. - 967 с.

29. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок. - М.: ИНФРА-М, 2008. – 430 с.
30. Сток Д.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой.- М.: ИНФРА – М, 2005. - 797 с.