

тывает убыль населения.

Разработанная модель даёт возможность проводить мониторинг любой страны по населению и мигрантам, но и по полученным данным делать прогнозы на будущее.

Литература

1. Добренев Е.И., Кравченко А.И. Социология: Социальная стратификация и мобильность. Т. 2. М.: МГУ.
2. Рыбаковский Л.Л. Миграция населения (Очерки теории и методов исследования). М.: МГУ.
3. Пыров П.В., Бутусов О.Б. Математическое и компьютерное моделирование миграционных процессов. // Труды института системного анализа РАН (ИСА РАН). Динамика неоднородных систем. М.: Книжный дом "Либроком". 2010. т. 50(1). с. 219-222.
4. Павловский Ю.Н. Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов // Динамика неоднородных систем. Под ред. чл.-корр. РАН Ю.С. Попкова. Институт системного анализа РАН. 2009. с. 139.
5. Белотелов Н.В., Бродский Ю.И., Павловский Ю.Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: Исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов // Динамика неоднородных систем. Под ред. чл.-корр. РАН Ю.С. Попкова. Институт системного анализа РАН. 2009. с. 320.
6. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. Программирование, численные методы. СПб.: ЛГУ, 2000. 450 с.
7. Троелсен. Э. C# и платформа .NET. Библиотека программиста. СПб.: Питер, 2004. 796 с.

Система поддержки принятия решений на основании нечеткого алгоритма для выбора поставщика в цепи поставок

д.ф.м.н. проф. Бутусов О.Б., Дубин М.Е., д.т.н. проф. Мешалкин В.П.¹,
к.т.н. доц. Никифорова О.П.²

Университет машиностроения

8 (916) 339-8691, butusov-1@mail.ru.

¹*РХТУ им. Д.И.Менделеева,*

8(499)978-8923, vpmeshalkin@gmail.com

²*Государственный университет управления*

8 (499) 177-5413, olga.nikiforova@yandex.ru

Аннотация. Разработана система поддержки принятия решений по рациональному выбору поставщика в цепи поставок, использующая метод анализа иерархий (МАИ) и алгоритма, основывающийся на операциях теории нечетких множеств. Функционирование СППР экспериментально проверено на реальных учётно-статистических данных. Результаты вычислительного эксперимента подтвердили эффективность использования предложенного алгоритма для принятия логистических управленческих решений.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, метод анализа иерархий, операции теории нечетких множеств, выбор поставщика в цепи поставок.

Введение

При логистическом управлении цепями поставок лицо, принимающее решение (ЛПР), ежедневно сталкивается со сложной системой взаимозависимых деловых процессов, которую нужно проанализировать. Все социально-экономические проблемы имеют альтернативные варианты управленческих решений. Зачастую, выбирая одно решение из множества возможных, ЛПР руководствуется только интуитивными представлениями. Вследствие этого

поиск рационального организационно-управленческого решения осуществляется в условиях неопределенности, что сказывается на качестве принимаемых решений. Когда экономические факторы характеризуются огромными массивами данных о деньгах, количестве производимой продукции, то оказывается, что эффективность моделирования деловых процессов сложных социально-экономических систем имеет существенные ограничения.

Обоснованность и профессиональный уровень ЛПР в основном определяют эффективность деятельности фирмы. Необходимость учета при принятии управленческих решений большого количества политических, экономических, социальных, юридических и этических факторов значительно усложняет задачу выбора рационального решения. В первую очередь, это связано со сбором нужной для принятия решения информации. Существенную помощь руководителю оказывают современные интеллектуальные системы поддержки принятия решений (СППР), в том числе экспертные системы [1]. Однако наличие достоверной информации – необходимое, но не достаточное условие для принятия рационального организационно-управленческого решения.

В частности, проблема принятия рациональных решений наиболее остро стоит в логистике при выборе наилучших поставщиков в цепи поставок для промышленных предприятий. Очевидно, что разные поставщики в цепи поставок могут предложить различные условия поставки. Многие предприятия-закупщики продукции считают, что цена поставки посредника всегда выше, чем у производителя, а посредник назначает большую стоимость, чем поставщик. Теоретически это так, но на практике не всегда соблюдается. Дистрибьюторы, закупая у производителя продукции товар в очень больших количествах, могут предложить покупателю товар по цене ниже цены производителя за счет больших скидок, предоставляемых последним дистрибьютору. Производителю невыгодно иметь дело с мелкими поставщиками, поскольку объем их закупок составляет десятые или даже сотые доли процента от всего объема продаж производителя на рынке. Тем более не может быть и речи о предпочтениях в отношении какой-либо отдельной компании [4].

Часто единственным фактором, который берется в расчет при выборе поставщика в цепи поставок, менеджеры по логистике считают цену товара. Контролировать процесс принятия решения в таких условиях можно лишь на основе определенного алгоритма. Иначе никогда не будет полной уверенности, что поставщики выбираются в интересах всей компании, а не в интересах ЛПР.

В логистике для оценки и выбора поставщиков в цепи поставок, как правило, используются два метода представления экспертных оценок: экспертно-балльный метод и метод попарных сравнений. Недостатком экспертизы является высокая степень субъективности оценки, особенно в определении весовых коэффициентов для каждого фактора. Основным недостатком метода попарных сравнений является риск нарушения транзитивности оценок. Основная особенность метода анализа иерархий (МАИ) [4] состоит в получении весового коэффициента фактора на основании попарной экспертной оценки факторов, поэтому основным преимуществом данного метода является более высокая степень объективности оценок (эксперт не оценивает фактор, а итогом применения МАИ является набор значений весов оцениваемых факторов). С учётом вышесказанного нами выбран МАИ как основа разработки алгоритма для СППР при рациональном выборе поставщика при логистическом управлении цепи поставок.

При разработке алгоритма рационального выбора поставщика примем, что $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество поставщиков в цепи поставок, из которых нужно выбрать наилучшего; $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ – множество параметров, используемых для оценки эффективности поставщиков из A .

Основная задача разработки алгоритма для СППР состоит в расположении (упорядочении, ранжировании) элементов множества A в порядке предпочтения по значениям пара-

метров множества C и нахождение максимального по значению элемента множества A . Для проверки эффективности разработанный алгоритм был апробирован на учётных статистических данных организации «Профиль дизайн».

Метод решения задачи

Определим шкалу измерения качества поставщиков в виде промежутка вещественных чисел $[0,1]$ и для каждого поставщика $a_i \in A, i = \overline{1, n}$ по значению каждого параметра деятельности поставщика $c_j, j = \overline{1, m}$ введем весовой коэффициент (функцию принадлежности нечеткого параметра c_j поставщика a_i) $\mu_j(a_i) \in [0, 1]$, который характеризует то, насколько этот поставщик соответствует понятию «наилучший по j -му параметру». Функция принадлежности ставит в соответствие каждому значению a_i заданной переменной нечёткого множества некоторое число из интервала $[0,1]$:

$$\mu_j(a_i): A \rightarrow [0,1] \quad \forall a_i \in X.$$

Это число, называемое степенью принадлежности, характеризует степень, с которой элемент a_i принадлежит нечеткому множеству X . В приложениях теории нечетких множеств используется большое количество различных типов функций принадлежности, таких как многоугольная, интуитивная, симметричная гауссова, асимметричная гауссова, сигмоидальная, гармоническая, полиномиальная [7]. Таким образом, перед оценкой $a_i \in A$ для каждого нечеткого параметра c_j должен быть определен вид функции принадлежности $\mu_j(a_i)$.

В результате каждый поставщик a_i теперь будет представлен не множеством значений параметров, а множеством $\{\mu_1(a_i), \mu_2(a_i), \dots, \mu_m(a_i)\}$ соответствующих им числовых оценок. При этом все они измеряются в одной и той же числовой шкале (промежуток $[0,1]$) и, следовательно, могут быть использованы совместно в численных расчетах ранга поставщиков.

Таким образом, для каждого $c_j \in C$ имеется множество чисел (значений функций принадлежности) $\{\mu_j(a_1), \mu_j(a_2), \dots, \mu_j(a_n)\}$, каждый элемент которого характеризует степень соответствия поставщика a_i понятию «наилучший» по этому параметру. Следовательно, понятие «наилучший» можно представить нечетким множеством, заданным на универсальном множестве поставщиков A ,

$$\tilde{c}_j = \{\mu_j(a_1)/a_1, \mu_j(a_2)/a_2, \dots, \mu_j(a_n)/a_n\},$$

где: $\mu_j(a_n)/a_n$ – элемент нечеткого множества [8] с функцией принадлежности $\mu_j(a)$, характеризующей совместимость в виде ранга любого поставщика $a \in A$ с понятием «наилучший».

Оценки параметров, в качестве которых выступают значения функции принадлежности, можно получать непосредственно от эксперта (прямой метод) или можно использовать какие-либо косвенные экспертные методы. Ранжирование $a_i \in A$ происходит на основе значений функций принадлежности выпуклой комбинации \tilde{C} нечётких множеств, соответствующих измеряемым параметрам,

$$\mu_{\tilde{C}} = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot \mu_j(a_i),$$

(в отличие от аддитивного метода свертки в данном случае используется взвешенная функция принадлежности [8]), где: $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – неотрицательные числа $\left(\sum_{j=1}^m \beta_j = 1\right)$, характеризующие относительную важность параметров c_1, c_2, \dots, c_m ; $\mu_j(a_i)$ – значение функции

принадлежности из $[0,1]$ для каждого поставщика $a_i \in A$ по значению каждого параметра $c_j, j = \overline{1, m}$, которая характеризует, насколько этот поставщик соответствует понятию «наилучший по j -му параметру» по мнению эксперта.

Таким образом, если $B = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m]^T$ – матрица-столбец коэффициентов важности используемых параметров, $M = \begin{bmatrix} \mu_1(a_1) & \dots & \mu_m(a_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mu_1(a_n) & \dots & \mu_m(a_n) \end{bmatrix}$ – матрица значений функций принадлежности, то матрица-строка $M_{\tilde{c}}$ элементов $[\mu_{\tilde{c}}(a_1), \mu_{\tilde{c}}(a_2), \dots, \mu_{\tilde{c}}(a_n)]$, определяющих предпочтения по качеству поставщиков, имеет вид

$$M_{\tilde{c}} = M \times B.$$

Наилучшим поставщиком a^* считается поставщик, которому соответствует максимальное значение функции принадлежности

$$\sigma_{\tilde{c}}(a^*) = \max_{a_i \in A} \mu_{\tilde{c}}(a_i).$$

Если эксперту удобнее оценивать важность параметров в числах, превышающих единицу, можно сначала использовать ту количественную шкалу, которая удобна для эксперта (например, в интервале от 0 до 10), а затем вычислить весовые доли каждого числа, которые и будут использованы в дальнейших расчетах. Другими словами, если первоначально важность параметра качества поставщика оценена в числах $\beta_j, j = \overline{1, m}$ из промежутка $[0, d]$, где

$$d - \text{какое-либо натуральное число, то } \beta_j = b_j / \sum_{k=1}^m b_k.$$

Важный этап в алгоритме выбора поставщика – построение функции принадлежности. В данной работе значения функции принадлежности находятся на основании экспертных оценок. Получение экспертных оценок основано на использовании балльной шкалы.

Метод анализа иерархий является систематической процедурой для иерархического представления элементов, определяющих сущность исходной проблемы поиска решения. Метод состоит в иерархической декомпозиции проблемы на все более простые составляющие и дальнейшей обработке последовательности суждений ЛПР по парным сравнениям. В результате может быть выражена относительная степень (интенсивность) иерархического взаимодействия сравниваемых элементов. Эти суждения затем выражаются численно. МАИ включает в себя процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений. Такой подход к решению проблемы наилучшего выбора исходит из естественной способности ЛПР думать логически и творчески, определять события и устанавливать отношения между ними.

Разработанный нечетко-логический алгоритм принятия решений в СППР состоит из двух этапов:

Этап 1. Формирование базы знаний(БЗ) и базы данных(БД)

На этом этапе осуществляется построение иерархии элементов, определяющих сущность исходной проблемы выбора поставщика. Основная задача данного этапа заключается в переводе знаний эксперта из лингвистической формы в числовую. (см. рис. 1).

На данном этапе участвуют эксперт и инженер по знаниям. Эксперт определяет факторы, по которым будут оценивать качество деятельности поставщиков (число факторов может быть произвольным), для каждого нечёткого фактора выбирает тип функции принадлежности и после этого задаёт соотношения между ними. Инженер по знаниям для каждого фактора заданного экспертом, задаёт способ получения информации из базы данных и базы знаний. Сформированная иерархия записывается в базу данных, либо сохраняется в файле. По-

лученный таким образом файл может автоматически использоваться программой-приложением СППР, и, соответственно, постоянное наличие эксперта для сложного анализа данных не требуется.

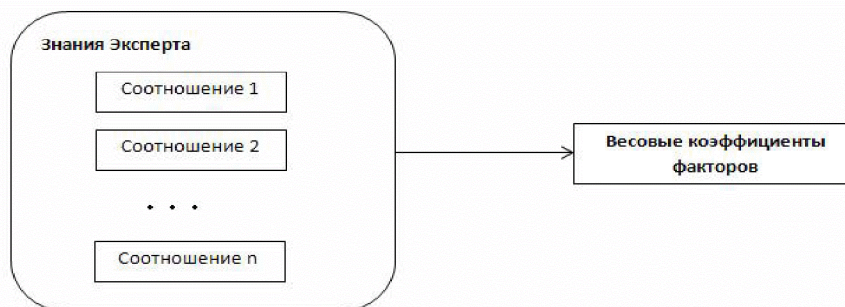


Рисунок 1 – Этап 1 – Формирование БЗ и БД

Этап 2. Использование СППР для принятия решения.

На этом этапе пользователь-менеджер по логистике вместе с СППР на основании сформированной ранее иерархии в автоматизированном режиме осуществляет анализ поставщиков товара и определяет наилучшего поставщика по каждой позиции номенклатуры продукции.

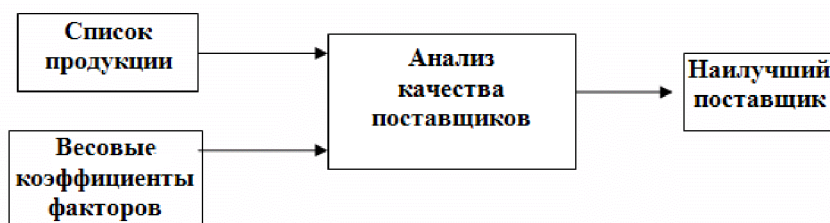


Рисунок 2 – Этап 2 - Использование СППР для принятия решения

Менеджер в диалоге с СППР определяет список товаров для заказа поставщикам, выбирает ранее сформированный файл и СППР выводит оценки каждого поставщика по каждой номенклатуре продукции из списка. На основании полученных данных ЛПР быстро может определить, у какого поставщика наиболее рационально заказывать данный товар.

Практические результаты

В качестве среды для компьютерной реализации предложенного алгоритма был выбран очень популярный в России комплекс программ автоматизации деловых процессов средних и малых организаций «1С:Предприятие 8». СППР разработана в виде внешней обработки для возможности работы с приложением в любых конфигурациях 1С, таких как 1С:Бухгалтерия, 1С:Управление Торговлей, 1С: Управление Производственным Предприятием и др. Для каждой конфигурации экспертом совместно с инженером по знаниям определяются источники данных, и составляется файл правил анализа данных (файл весов факторов), после чего он сохраняется на компьютере и в дальнейшем может использоваться в оперативном режиме для данной конфигурации. Для проверки приложения была выбрана система оперативного учета 1С:Управление Торговлей. Для удобства восприятия информации результаты выводятся в виде гистограммы (рисунок 3.).

Архитектура разработанной системы состоит из двух модулей, функциональное назначение которых соответствует описанным этапам. Предусмотрена возможность накопления, хранения и автоматического использования знаний эксперта, что позволяет экономить финансовые ресурсы предприятия.

СППР была апробирована для трех поставщиков (Поставщик 1, Поставщик 2, Поставщик 3), характеризующихся факторами, указанными в таблице 1.

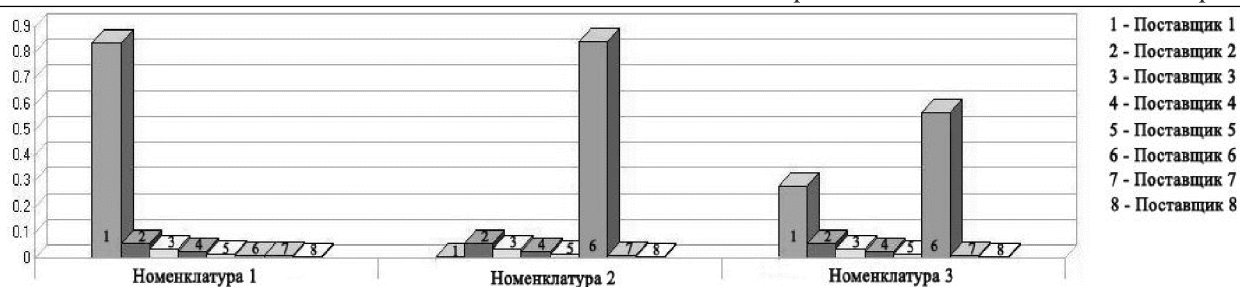


Рисунок 3 – Гистограмма оценок поставщиков в разрезе номенклатуры

Таблица 1

Факторы для оценки поставщиков

Фактор	Шкала измерения
Цена продукции	$(0, \infty)$ руб.
Срок доставки	$(0, \infty)$ дн.
Надежность	{Низкая, Средняя, Высокая}
Качество продукции	{Низкое, Среднее, Высокое}
Условие платежа	{Аванс, Предоплата, Кредит}

В данном случае необходимо совместно использовать данные, измеряемые в шкале отношений («Цена продукции», «Срок доставки»), относящейся к количественным шкалам, и данные, измеряемые в качественных шкалах порядка («Надежность», «Качество продукции», «Финансовое состояние») и наименований («Условия платежа»). Если для первой шкалы допустимыми являются как логические, так и арифметические операции, то для остальных шкал использование арифметических операций недопустимо. Мало того, к данным шкалы наименований можно применять только одну логическую операцию – сравнение на эквивалентность.

Результаты практического использования алгоритма представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка «качества» поставщиков

Факторы качества поставщика	Оценка факторов		
	Поставщик 1	Поставщик 2	Поставщик 3
Фактор 1: Цена продукции	0,54	0,3	0,16
Фактор 2: Срок доставки	0,35	0,42	0,23
Фактор 3: Надежность	0,41	0,32	0,27
Фактор 4: Качество продукции	0,45	0,37	0,18
Фактор 5: Условие платежа	0,34	0,41	0,25
ИТОГО	1,96	1,97	1,07

Как видно из таблицы 2, при учете только одного фактора качества (цена продукции) поставщиком с наилучшей оценкой является «Поставщик 1», при учете косвенных факторов наиболее приоритетным становится «Поставщик 2». По результатам вычислительного испытания СППР можно сделать вывод о значительном влиянии второстепенных факторов на конечную оценку поставщика.

Заключение

В результате проведенных вычислительных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- По результатам вычислительных экспериментов алгоритма можно сделать вывод о значительном влиянии второстепенных факторов на конечную оценку качества поставщика.

- Использование алгоритма увеличивает степень объективности при выборе стратегии закупочной логистики, так как эксперт определяет только соотношения и не знает конечные веса факторов, что в целом положительно сказывается на экономических показателях предприятия.

Литература

1. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. М.: Химия, 1995. 368с.
2. Мешалкин В.П., Дови В.Г., Марсанич А. Принципы промышленной логистики. Москва/Генуя, «РХТУ», 2002. 727с.
3. Мешалкин В.П., Дови В. Г., Марсанич А. Стратегия управления логистическими цепями химической продукции и устойчивое развитие. Москва/Генуя, «РХТУ», 2003. 531с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
5. Лещинский Б.С. Нечеткий многокритериальный выбор объектов недвижимости // Вестник ТГУ. 2003. Вып. 269. с. 116–119.
6. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Советское радио, 1977. 302 с.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
8. Zimmermann H. J. (1987) Fuzzy sets, decision making, and expert systems. London: Kluwer Academic Publishers.

Математическая модель тепловой сети и разработка рекомендаций по расчету КПД для произвольного температурного графика

чл.-корр. РАН д.т.н. проф. Систер В.Г., Ямчук А.И., д.т.н. доц. Поливода Ф.А.
Университет машиностроения, ОАО ЭНИН им. Г.М. Кржижановского
8 (499) 267-19-70, nastya831983@mail.ru, 8 (495)955 33 01, polivoda@eninet.ru

Аннотация. Предложена обобщенная математическая модель тепловой сети, на основании которой возможно её исследование для различных методов регулирования, в т.ч. и количественно-качественного регулирования тепловой нагрузки. Получено в аналитическом виде уравнение для расчета КПД тепловой сети, что дает возможность проектным организациям оптимизировать длину передачи теплоносителя, определять оптимальный расход горячей воды в трубопроводе и его диаметр.

Ключевые слова: тепловая сеть, расчет КПД, оптимизация, энергосбережение

Введение

Актуальной задачей энергосбережения является экономия энергии на тепловых сетях. Радиус действия современных тепловых сетей доходит до 50 км, а их протяженность в крупных городах составляет свыше 2000 км. Достаточно сказать, что ежегодно на тепловых сетях в России теряется более 250 млн. Гкал тепла. Тепловые сети по своей сущности являются пассивными звеньями систем теплоснабжения, и от их правильной эксплуатации зависит эффективность всей системы энергоснабжения города.

Наряду с созданием новых теплоизолирующих материалов для теплотрасс актуальной проблемой является управление режимами сети; выбор наиболее правильных графиков регулирования, что позволит не внося больших капитальных затрат добиться существенного повышения эффективности теплоснабжения. Цель настоящей работы - создать обобщенную теоретическую модель теплообмена сети с окружающей средой, необходимую для выработки критериальных зависимостей, по которым возможно построение инженерных методик, направленных на повышение эффективности теплосетей. При этом основной акцент должен