

DOI 10.22363/2313-2329-2021-29-2-348-358

УДК 338

Научная статья / Research article

## Управление снабжением материальных ресурсов автомобилестроительных предприятий на основе экспертных систем

**П.А. Нечаева** 

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова,  
Российская Федерация, 420111, Республика Татарстан, Казань, ул. Московская, д. 42  
✉ [polina23j@yandex.ru](mailto:polina23j@yandex.ru)

**Аннотация.** Важность управления снабжением материальных ресурсов стала очевидной в современной экономике, так как оно во многом определяет выживание корпорации и ее успешность на рынке, что особенно актуально в условиях кризиса. Особое влияние на данный процесс оказывают поставки предметов снабжения. Проблема субъективизма при выборе поставщика усиливается в современных условиях, что вынуждает компании для принятия управленческих решений использовать новый инструментарий, такой как системы искусственного интеллекта. Предложена экспертная система управления поставщиками как составная часть системы управления снабжением материальных ресурсов для автомобилестроительных предприятий. Рассмотрена возможность повышения эффективности управления системой снабжения, в частности управления поставщиками, на основе нечеткой экспертной системы. Нечеткие знания, используемые при построении экспертной системы, позволяют руководству компании учесть неопределенность при принятии решений о выборе конкретного поставщика, а также увидеть описание критериев поставщика, не поддающихся количественной оценке. Использование экспертной системы становится особенно актуальным, когда возникают сложности объективного принятия решения и выбора из множества альтернатив. В результате работы экспертной системы топ-менеджмент компании получит объективное решение о выборе поставщика.

**Ключевые слова:** экспертная система, снабжение, управление поставщиками, автомобилестроение, материальные затраты, нечеткая экспертная система

**История статьи:** поступила в редакцию – 6 ноября 2020 г.; проверена – 15 декабря 2020 г.; принята к публикации – 12 марта 2021 г.

**Для цитирования:** *Нечаева П.А.* Управление снабжением материальных ресурсов автомобилестроительных предприятий на основе экспертных систем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2021. Т. 29. № 2. С. 348–358. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-2-348-358>

## Management of material recourse supply of automotive enterprises based on expert systems

Polina A. Nechaeva 

*Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov,  
42 Mayakovskaya St, Kazan, 420111, Russian Federation*

✉ polina23j@yandex.ru

**Abstract.** The importance of managing the material recourse supply has become apparent in the modern economy as it largely determines the survival of a corporation and its success in the market, which is especially important in a crisis. The procurement has a particular impact on this process. The problem of subjectivity when choosing a supplier is increasing in modern condition, which forces companies to use new tools, such as artificial intelligence system to make management decisions. The article proposes an expert supplier management system as an integral part of the material recourse supply management system for automotive enterprises. The possibility of improving the efficiency of procurement system, in particular supplier management. Based on a fuzzy expert system is considered. The fuzzy knowledge used to build the expert system will allow the company's management to take into account the uncertainty when making decisions about choosing a particular supplier, as well as see a description of the supplier's criteria that cannot be quantified. The use of an expert system becomes especially relevant when difficulties arise in objective decision making and choosing from a variety of alternatives. As a result of the work of the expert system, the top management of the company will receive an objective decision on choosing a supplier.

**Keywords:** expert system, procurement, supplier management, automotive, material costs, fuzzy expert system

**Article history:** received – 6 November 2020; revised – 15 December 2020; accepted – 12 March 2021.

**For citation:** Nechaeva, P.A. (2021). Management of material recourse supply of automotive enterprises based on expert systems. *RUDN Journal of Economics*, 29(2), 348–358. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2329-2021-29-2-348-358>

### Введение

Вопросы управления снабжением материальных ресурсов в сложившейся ситуации в мире становятся особенно острыми для промышленных предприятий, где уровень материальных затрат достигает самых высоких значений.

По данным анализа рынка Республики Татарстан (РТ) для автомобилестроительных корпораций наиболее высоких значений достигает статья затрат – покупные комплектующие изделия, их доля может достигать 60 % и более от общих материальных затрат предприятия. Это обусловлено тем, что большинство предприятий в РТ имеет сборочное производство и получает комплектующие изделия из разных стран.

Управление снабжением материальных ресурсов включает два больших функционала: управление закупками и управление поставщиками.

Глобальные масштабы современных цепей поставок налагают определенные требования к поставкам и дополнительные обязательства на поставщиков. Цифровая трансформация кардинально меняет управление внедрением инноваций в компании и то, как фирмы обеспечивают конкурентоспо-

способность (Jovanovic, Sjodin, Parida, 2021; Hanelt et al., 2020). Возрастает роль менеджера, отвечающего за поставки, который должен влиять не только на показатели финансовой отчетности, но и увеличивать показатели деятельности всех вовлеченных членов команды предприятия, а также уделять особое внимание вопросам управления и оптимизации запасов. Применение имеющихся на сегодняшний день различных моделей управления запасами (Brodetskiy, 2017, 2019) и систем рассуждений на базе искусственного интеллекта для эффективного управления закупками (Cook, 2006) оказывает существенное влияние на оптимизацию всей цепи поставок и еще большее влияние на процесс получения материалов.

В последнее время большинство компаний стали предъявлять более высокие требования к выбору поставщиков. Анализируя рынки РТ, можно сделать вывод, что более 50 % проблем качества продукции возникает из-за предметов снабжения, которыми обеспечивают предприятия поставщики. В связи с чем задача грамотного выбора поставщика становится первоочередной для устойчивого функционирования предприятия.

Очевидной стала проблема субъективизма и предвзятости при выборе поставщика, которая приводит к применению новых инструментов, таких как системы искусственного интеллекта для принятия управленческих решений.

### Обзор литературы

Системы искусственного интеллекта всегда привлекали разносторонних ученых, таких как С. Хайкин, А.Ф.С. Борхес, Ф.Д.В. Лауриндо, М.М. Спелла, Р.Ф. Гонсалвеш, К.А. Маттос, И.К. Дуиведи, Л. Хьюз, Г. Аартс, С.В. Альбрехт, П. Стоун (Хайкин, 2006; Borges et al., 2020; Dwivedi et al., 2019; Albrecht, Stone, 2018) и др. Проектирование экспертных систем рассматривается в различных книгах и статьях, но до сих пор многие вопросы, связанные с созданием экспертных систем, остаются открытыми.

Дж. Джарратано, Г. Райли (Джарратано, Райли, 2007) в своем, известном во всем мире, труде «Экспертные системы: принципы разработки и программирование», представили теорию и программирование различных экспертных систем, где приведены многочисленные примеры, позволяющие уточнить смысл излагаемого материала. Каждая глава описана в историческом контексте, что позволяет понять смысл разработки тех или иных методов. На основе изложенной теории экспертных систем возможно объективно выбрать нужное направление использования технологии экспертных систем. Исследователь Яш П. Гупта (Gupta, 1990) показывает, насколько велика роль экспертных систем в производстве, особенно в таких областях, как планирование процессов, робототехника, компоновка завода.

Основатель теории нечетких множеств Л.А. Заде (Zade, 1976) в своем труде «Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений» при помощи аппарата «нечетких множеств» представил модели, похожие на умозаключения человека и использование их в компьютерных системах.

В труде В.Н. Ручкина, В.А. Фулина (Ручкин, Фулин, 2009) «Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы» приводится опреде-

ление понятия «Экспертная система», классификация экспертных систем, примеры использования и разработки в различных направлениях народного хозяйства.

С. Хайкин (Хайкин, 2006) в труде «Нейронные сети» подробно описывает нейронные сети с учетом их междисциплинарной природы. Искусственные нейронные сети представляют собой технологию, находящую свое применение в различных областях.

В труде С.В. Альбрехта и П. Стоуна (Albrecht, Stone, 2018) представлен всесторонний обзор методов моделирования в области искусственного интеллекта, отличающихся методологией, практическим применением, исходными допущениями. Построение моделей – важный аспект взаимодействия автономных агентов, обладающих способностью рассуждать о поведении других агентов.

В исследовании использована информация специализированных научных изданий, опубликованная в отечественной и зарубежной научной литературе и периодической печати в области экспертных систем и искусственного интеллекта, информация, размещенная на официальном сайте группы компаний ПАО «КАМАЗ», первичная информация, собранная автором на промышленных предприятиях РТ.

### **Методы и подходы**

Методологической базой данного исследования являются концепции и методы, разработанные отечественными и зарубежными учеными по проблеме создания различных экспертных систем, управления материальными ресурсами, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований.

Для решаемых в исследовании задач применялись эмпирические методы, методы сравнительного анализа, обобщения статистических данных.

Основные научные положения данного исследования разрабатывались автором самостоятельно.

### **Анализ материальных затрат крупнейшего автомобилестроительного предприятия РТ – ПАО «КАМАЗ»**

Группа компаний «КАМАЗ» – крупнейшая градообразующая автомобильная корпорация в РТ.

Группа организаций ПАО «КАМАЗ» объединяет 109 компаний на территории России, СНГ и дальнего зарубежья. Всего в группе технологической цепочки ПАО «КАМАЗ» работает 32,7 тыс. чел.<sup>1</sup>

В 2019 году было произведено 33,5 тыс. грузовых автомобилей КАМАЗ и 38 тыс. силовых агрегатов. Также по результатам 2019 года было произведено запасных частей на сумму 25,8 млрд руб., продукции диверсификации – на 7,6 млрд руб.<sup>2</sup>

На рис. 1 представлен анализ отдельных видов затрат в структуре себестоимости продаж ПАО «КАМАЗ» за отчетные даты 01.07.2018 – 01.07.2019.

<sup>1</sup> О компании. URL: <https://kamaz.ru/about/general-information/> (дата обращения 11.10.2020).

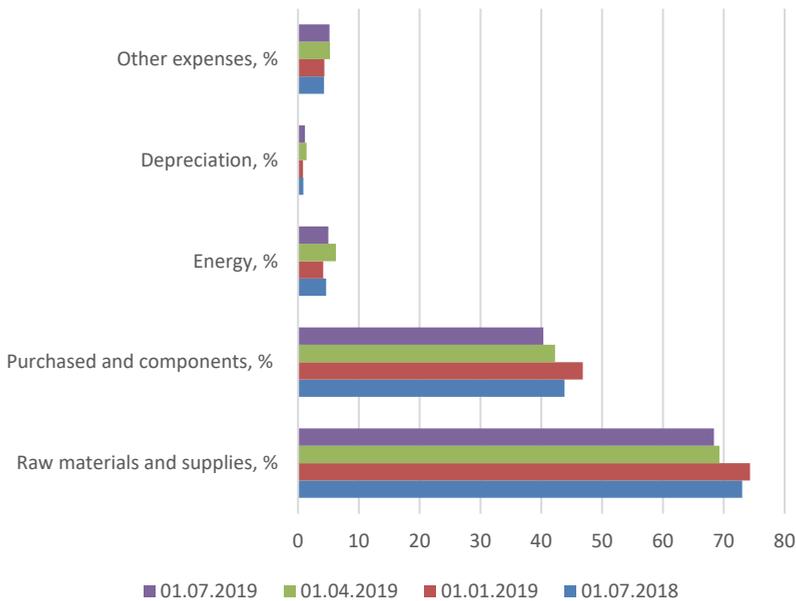
<sup>2</sup> Там же.

Исходя из полученных результатов анализа ПАО «КАМАЗ» (рис. 1), доля затрат на покупные комплектующие изделия колеблется от 40 до 47 % в структуре себестоимости, от 59 до 63 % в структуре материальных затрат.



**Рис. 1.** Анализ затрат в структуре себестоимости продаж ПАО «КАМАЗ» за отчетные даты 01.07.2018 – 01.07.2019, %

Источник: составлено автором на основе материалов официального сайта компании КАМАЗ. URL: <https://kamaz.ru/about/general-information/> (дата обращения: 11.10.2020 г.).



**Figure 1.** Analysis of costs in the structure of the sales costs of KAMAZ for the reporting dates from 01.07.2018 to 01.07.2019, %

Source: compiled by the author on the basis of materials from the official website of the KAMAZ company. Retrieved October 11, 2020, from <https://kamaz.ru/about/general-information/>

Материальные ресурсы в автомобилестроении обладают специфическими свойствами и отличаются по видам, сортам, маркам, размерам, качеству и срокам годности, что влияет на условиях их грузопереработки, транспортировки, складирования.

### **ЭС управления поставщиками для автомобилестроительных компаний**

Несмотря на существующие проблемы, связанные с практическим использованием искусственного интеллекта (Borges et al., 2020), его воздействие окажет значительное влияние на такие сферы, как бизнес и управление, производство, управление цепями поставок, логистика, финансы (Dwivedi et al., 2019).

Первоначальное видение искусственного интеллекта было моделированием имплицитного интеллекта человека, но постепенно происходило смещение в сторону автономных систем, которые способны конкурировать с людьми (Epstein, 2015).

Искусственный интеллект как нельзя лучше подходит для решения задач, связанных с управлением снабжением на промышленных предприятиях, в частности для задачи управления поставщиками. В ходе снабженческой деятельности генерируется огромный массив числовых данных, которые могут быть весьма полезными и информативными, что в последствии приведет к высокой окупаемости инвестиций.

Для решения задач управления снабжением автомобилестроительного предприятия возможно создание экспертной системы (ЭС). В рамках данной статьи предлагается ЭС управления поставщиками для автомобилестроительных компаний.

Экспертные системы – вычислительные информационные системы, в которые включены знания специалистов о некоторой конкретной области и которые в пределах этой области способны принимать экспертные решения (Ручкин, Фулин, 2009).

Яш П. Гупта описал возможность перевода знаний эксперта или группы экспертов в интеллектуальное программное обеспечение, основой которого является принятие решений (Gupta, 1990).

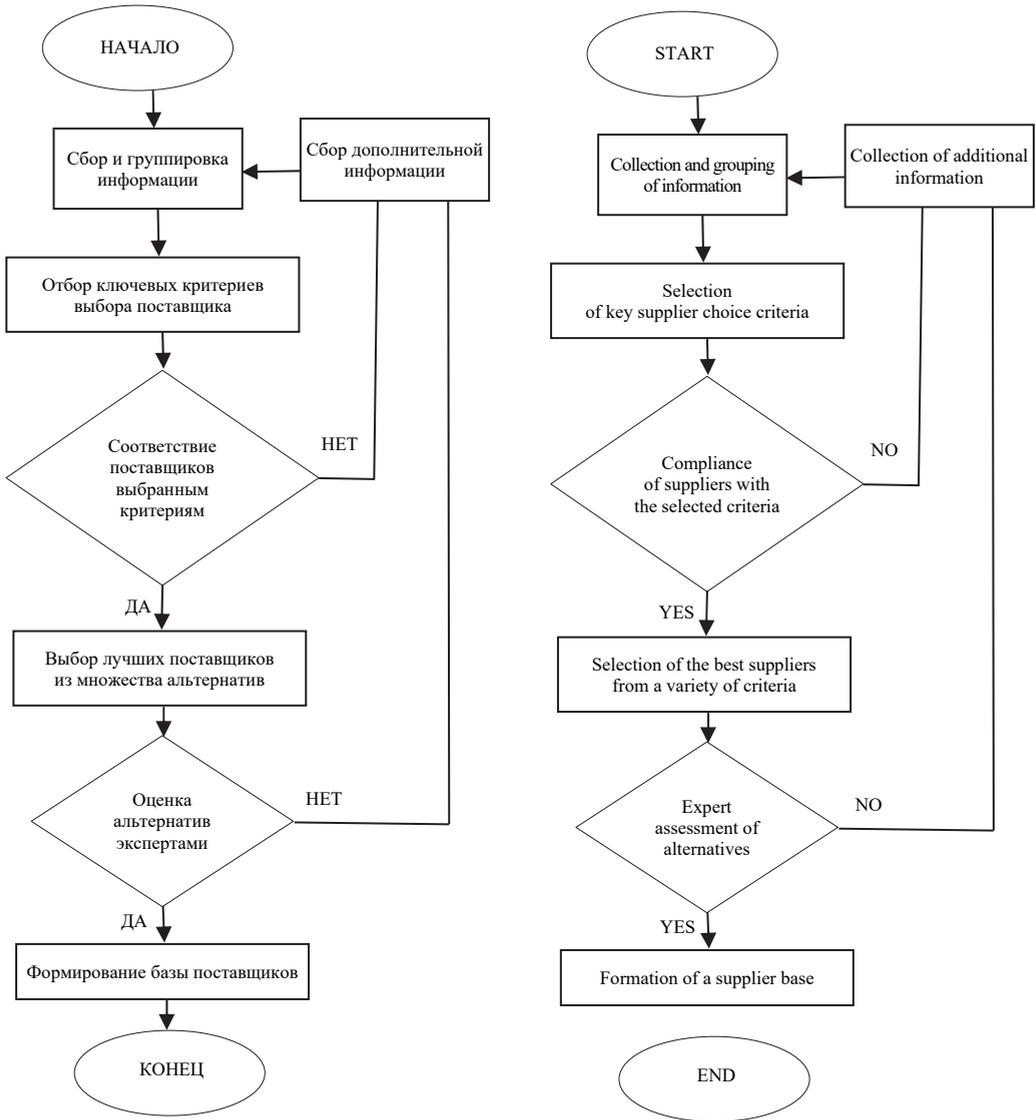
Любая экспертная система состоит из базы знаний (БЗ), машины логического вывода реализации функций (МЛВ), интерфейса разумных умозаключений (И).

База знаний – совокупность знаний ЭС, важной частью которой является подсистема объяснений. Это программа, позволяющая пользователю получить разъяснения для решаемой задачи (Giarratano, Riley, 2007; Ручкин, Фулин, 2009).

Главная задача МЛВ – изменять материал базы данных ЭС, называемой рабочей памятью (РП), содержащей информацию о состоянии системы в данный момент.

Необходимой частью ЭС является интеллектуальный редактор базы знаний (РБЗ). С помощью РБЗ осуществляется предоставление средств, позволяющих упростить заполнение БЗ.

Экспертом выступает высококвалифицированный специалист, предоставляющий пользователю возможность понять действия ЭС, а также вырабатывающий рекомендации для дальнейшего использования полученной информации.



**Рис. 2.** Алгоритм анализа информации о поставщиках **Figure 2.** Algorithm for analyzing information about suppliers

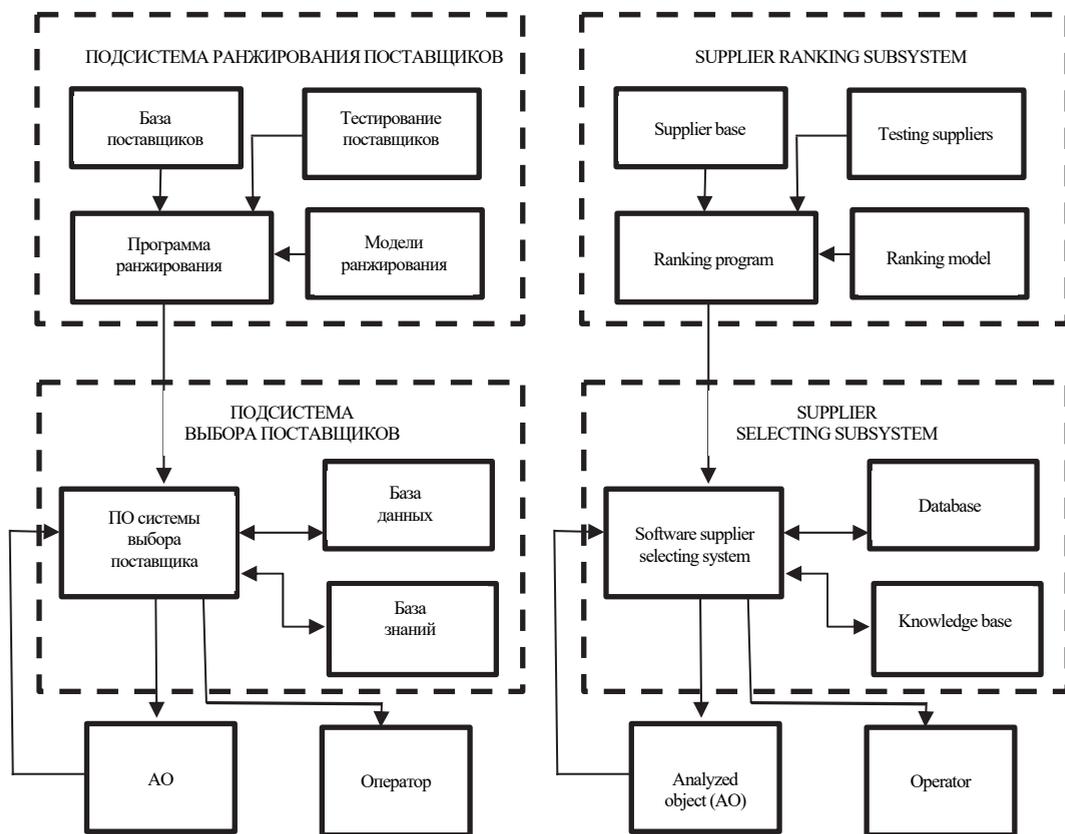
Управление системой снабжения, в частности управление поставщиками, осуществляется на основе собранной информации о поставщиках. Источниками информации служат каталоги и прайс-листы предприятий-поставщиков, торговые журналы, информация с сайтов действующих на территории РТ предприятий, информация с выставок и ярмарок (ЭКСПО-КАМА), личные контакты с поставщиками, сеть Интернет, а также государственные источники, предоставляющие такую информацию в открытом доступе.

Алгоритм анализа полученной информации представлен на рис. 2.

Умение эффективно управлять поставками связано в первую очередь со способностью объективно принимать управленческие решения. В практике это возможно на основе анализа поставщика: своевременность поставки предметов снабжения, необходимое качество и количество предметов снабжения, объективная цена. При поставке материальных ресурсов автомобильно-строительным корпорациям необходимо учитывать дополнительные атрибу-

ты поставщика, включающие его техническое оснащение, финансовое положение, репутацию, местоположение. Это обусловлено тем, что для автомобилестроительных корпораций гораздо важнее качество поставляемых предметов снабжения, чем сроки.

Структурная схема экспертной системы управления поставщиками представлена на рис. 3.



**Рис. 3.** Структурная схема экспертной системы управления поставщиками

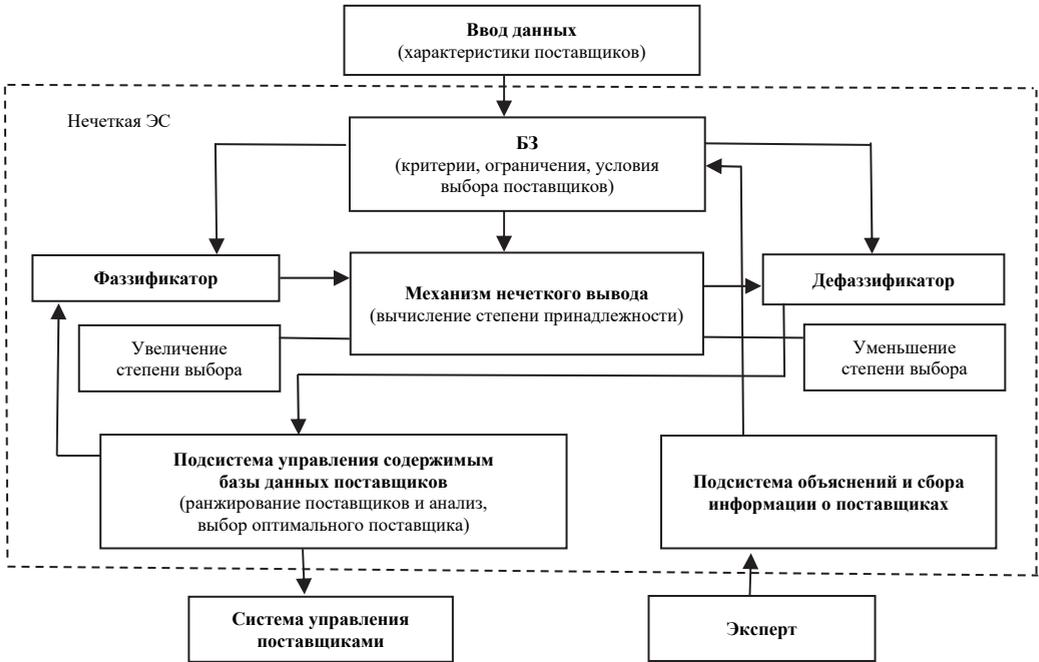
**Figure 3.** Structural diagram of an expert management system

Проблема управления поставщиками осложняется высоким ростом поставщиков и закупаемых предметов снабжения, неэффективным планированием закупок, неэффективным управлением большим массивом данных о поставщиках, часто противоречивых.

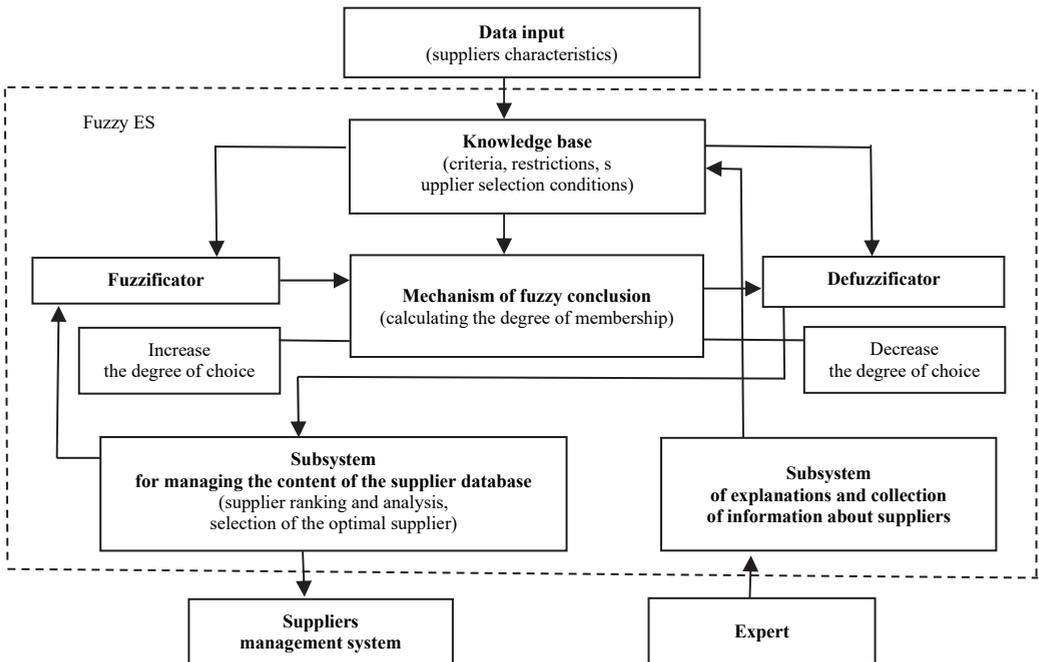
Данные через интерфейс поступают в МЛВ, которая меняет содержимое базы данных поставщиков и заполняет область реального времени РП. Подсистема объяснений, на основе данных анализа, изменяет базу знаний, увеличивая точность принимаемых решений.

В качестве анализируемого объекта (АО) используется определенный поставщик из базы поставщиков, созданной согласно алгоритму, представленному на рис. 2. Предлагаемая ЭС подает в динамике воздействия на АО, тестирует его и выдает заключение: удовлетворяет или нет данный поставщик необходимым критериям выбора. В том случае, если проверяемый поставщик не соответствует эталонным значениям, то данные по нему переда-

ются в подсистему выбора поставщика, основанную на знаниях. ЭС запрашивает значения по данному поставщику в контрольных точках и ведет оператора, рекомендуя ему пересмотреть оценку по определенным критериям, и либо подтвердить промежуточный выбор, либо увидеть причину, по которой данный поставщик не выбран.



**Рис. 4.** Система управления поставщиками на основе нечеткой экспертной системы



**Figure 4.** Supplier management system based on fuzzy expert system

Данная система является интеллектуальной, так как она накапливает опыт. Она запоминает причины, по которым конкретный поставщик был не выбран. При следующей проверке поставщика с такими же характеристиками ЭС предлагает сразу проверить его по данному критерию.

Нейро-нечеткие системы обладают эффективными способностями к обучению и рассуждению, сочетая в себе обучаемость искусственных нейронных сетей и явное представление знаний нечетких систем вывода (Shihabudheen, Pillai, 2018).

С целью повышения эффективности управления снабжением и объективного выбора поставщика материальных ресурсов применяется нечеткая ЭС (рис. 4).

Основу системы управления поставщиками на основе нечеткой экспертной системы составляют интерфейс фаззификации, база знаний на основе нечетких правил, механизм логического вывода и интерфейс дефаззификации, применяемый для процесса преобразования нечеткого вывода в четкий (Zade, 1976).

Совокупность входных данных об альтернативных поставщиках сравнивается с функциями принадлежности (нечеткие критерии), в результате чего определяется степень принадлежности входных данных соответствующим функциям принадлежности. На следующем этапе создается матрица результирующих оценок. В ЭС закладываются критерии применимости поставщиков, после чего вычисляется степень принадлежности по заданной функции. В результате производится ранжирование поставщиков и определение наилучших альтернатив.

### **Заключение**

ЭС, основанная на нечетких знаниях, будет учитывать неопределенность при принятии решений о выборе поставщика и позволит получить расшифровку критериев поставщика, не поддающихся количественной оценке. Использование данной системы приобретает особое значение, когда возникают сложности объективного принятия решения и выбора из множества альтернатив. Важным звеном в системе управления является эксперт, который на основе своих знаний, описывает процесс управления системой. Полученное описание, набор нечетких функций принадлежности и нечеткие правила используются системой для вывода решения.

Результатом работы экспертной системы является объективное управленческое решение о выборе поставщика.

Предлагаемый подход позволит избавиться от фактора субъективности при выборе поставщика, разработать оптимальную схему выбора поставщика, что положительно скажется на всей системе управления снабжением ресурсами автомобилестроительного предприятия.

### **Список литературы / References**

- Albrecht, S.V., & Stone, P. (2018). Autonomous agents modelling other agents: A comprehensive survey and open problems. *Artificial Intelligence*, 258, 66–95. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.01.002>

- Borges, A.F.S., Laurindo, F.J.B., Spinola, M.M., Gonsalves, R.F., & Mattos, C.A. (2020). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. *International Journal of Information Management*, 57, 102225. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102225>
- Brodetskiy, G. (2017). The inventory optimization taking into account time value of money and order payment deferrals. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 28(4), 486–506. <http://doi.org/10.1504/IJLSM.2017.10008192>
- Brodetskiy, G. (2019). The influence of the order prepayment on inventory optimisation. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 32(1), 49–68. <http://doi.org/10.1134/S0005117917110078>
- Cook, R.L. (2006). Case-based reasoning systems in purchasing: applications and development. *International Journal of Purchasing and Materials Management*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.1997.tb00023.x>
- Dwivedi, Y.K., Hughes, L, Aarts, G., et. al. (2019). Artificial intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 57, 101994. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002>
- Epstein, S.L. (2015). Wanted: Collaborative intelligence. *Artificial intelligence*, 221, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.artint.2014.12.006>
- Giarratano, J.C., & Riley, G.D. (2007). *Expert system: Principles and Programing*. 4th edition. Moscow, I.D. Vilyms Publ. (In Russ.)  
*Джарратано Дж., Райли Г.* Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд. М.: И.Д. Вильямс, 2007. 1152 с.
- Gupta, Y.P. (1990). Various aspects of expert systems: Applications in manufacturing. *Technovation*, 10, 487–504. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(90\)90027-H](https://doi.org/10.1016/0166-4972(90)90027-H)
- Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes C. (2020). A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *J. Manag. Stud.* <https://doi.org/10.1111/joms.12639>
- Haykin, S. (2006). *Neural networks: A comprehensive foundation*. 2nd edition. Moscow, I.D. Vilyms Publ. (In Russ.)  
*Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. М.: И.Д. Вильямс, 2006. 1104 с.
- Jovanovic, M., Sjodin, D., & Parida, V. (2021). Co-evolution of platform architecture, platform services, and platform governance: Expanding the platform value of industrial digital platforms. *Technovation*. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102218>
- Ruchkin, V., & Fulin, V. (2009). *Universal artificial intelligence and expert system*. Saint Petersburg, BVH-Peterburg Publ. (In Russ.)  
*Ручкин В.Н., Фулин В.А.* Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 240 с.
- Shihabudheen, K.V., & Pillai, G.N. (2018). Recent advances in neuro-fuzzy system: A survey. *Knowledge-Based System*, 152, 136–152. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.04.014>
- Zade, L. (1976). *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. Moscow, Mir Publ. (In Russ.)  
*Заде Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 320 с.

### Сведения об авторе / Bio note

*Нечаева Полина Александровна*, кандидат экономических наук, доцент, кафедра менеджмента, Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова. eLIBRARY SPIN-код: 1455-5860; Scopus Author ID: 57192300473. E-mail: polina23j@yandex.ru

*Polina A. Nechaeva*, PhD, Associate Professor, Department of Management, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov. eLIBRARY SPIN-code: 1455-5860; Scopus Author ID: 57192300473. E-mail: polina23j@yandex.ru