

Интеллектуальный анализ поставщиков как средство поддержки принятия решений специалистами судостроительного предприятия

О. Н. Петров

*Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет*

petr_oleg@mail.ru

К. И. Андреев

*Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет*

kandreev764@gmail.com

Аннотация. Обсуждается проблема интерпретации и анализа данных о поставщиках судостроительного предприятия с использованием интеллектуальных технологий. Рассматриваются вопросы сбора, очистки и хранения данных об имеющихся и потенциальных поставщиках на основе внутренних и открытых источников. Выделяются процедуры нечеткой формальной системы, позволяющие осуществить рейтинговую оценку поставщиков на основе нечетких критериев. Поддержка принятия решения осуществляется на основе ранжирования рейтинговых оценок с формализацией рисков. Приводятся примеры внедрения и апробации.

Ключевые слова: нечеткая логика; извлечение данных; поддержка принятия решений; судостроительное предприятие

I. ВВЕДЕНИЕ

Модернизация судостроительной отрасли посредством цифровой трансформации технологических и бизнес-процессов судостроительных предприятий является ключевым фактором повышения эффективности и конкурентоспособности в условиях стремительно развивающихся информационных, в том числе интеллектуальных, технологий [1].

Уникальный опыт внедрения технологий Индустрии 4.0 в судостроительное производство в рамках реализации проекта «Интегрированная информационная система «Цифровая верфь» (ИИС «ЦВ») на Онежском судостроительно-судоремонтном заводе (АО ОССЗ), осуществленное Институтом Информационных Технологий (ИИТ) Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) в сотрудничестве с ООО «Бизнес-Технологии», позволил выявить основные проблемы, а также методы и средства их решения, на различных направлениях цифровизации и цифровой трансформации процессов производства судна [1].

Одним из таких направлений является интеллектуализация поддержки принятия решений при выборе поставщиков специалистами отдела закупок судостроительного предприятия. В различных вариантах постановки к этой задаче обращались исследователи на протяжении последних лет.

Так, в [2] авторы обращаются к процессу выбора поставщика для машиностроительного предприятия. Авторы предлагают использовать критерии, связанные как с самим поставщиком, так и с поставляемой им

продукцией и приводят нечеткие термы выбранных критериев. Также рассматривается общий подход к этапам анализа поставщиков и предлагается нечеткая модель основного этапа – анализа.

В [3] авторы отмечают необходимость индивидуального подхода к формированию критериев оценки поставщиков с учетом особенностей функционирования конкретного предприятия, а также текущих обстоятельств. Авторы предлагают модульную модель, использующую теорию нечеткой логики для принятия во внимание субъективности предпочтений.

В [4] авторы подчеркивают стратегическое значение подбора поставщиков для успеха современного предприятия. Опираясь на множественность критериев анализа поставщиков, авторы предлагают использовать нечеткий метод анализа иерархий (fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)) в комбинации с методом TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Ранжирование альтернатив осуществляется на основе взвешенных критериев.

В [5] авторы выделяют риски финансовых и репутационных потерь и предлагают использовать модель оценки риска на основе нечеткой логики. Поставщик с минимальной оценкой риска определяется путем нахождения баланса между финансовыми рисками и рисками репутационных потерь.

В [6] авторы предлагают усовершенствованную модель нечеткой оценки на основе системы критериев, включающей организационные критерии, критерии продукции, критерии доступности, критерии продаж и критерии социальной ответственности. В целях уменьшения влияния субъективности рассматривается комбинация метода анализа иерархий (analytic hierarchy process (AHP)) и факторного анализа.

В процессе разработки модуля интеллектуального анализа поставщиков ИИС «ЦВ» были определены ключевые вопросы:

- Что является источником данных о поставщиках?
- Насколько полны и достоверны данные в выбранных источниках?
- Какие критерии как составляющие формальной модели оценки поставщиков могут быть использованы для ранжирования поставщиков и меняется ли их перечень со временем?

- Как и кем определяется оценка поставщиков по выбранным критериям?
- Какова область применения параметров формальной модели оценки поставщиков?

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

A. Источники данных

Одним из важнейших вопросов при работе с поставщиками является вопрос о том, где получить информацию о каждом поставщике в таком объеме, чтобы можно было осуществить достаточно достоверный анализ его пригодности. Принимая во внимание специфику функционирования судостроительного предприятия, можно выделить две категории источников: внутренние источники и внешние источники, где к внутренним источникам относятся хранимые в ERP-системе (Enterprise Resource Planning) данные, к которым у модуля интеллектуального анализа поставщиков имеется непосредственный доступ, а к внешним – как накопленный опыт специалистов отдела закупок, так и открытые данные из сети Интернет.

База данных ERP-системы является базовым источником данных как средство хранения информации о контрагентах, товарно-материальных ценностях (ТМЦ), проведенных ранее закупках: сроках, объемах и наличии или отсутствии претензий. Тем не менее, этот источник обладает существенным недостатком: он содержит данные лишь о тех поставщиках, с которыми уже осуществлялось взаимодействие в прошлом. Кроме того, полнота и достоверность информации о поставщиках и ТМЦ подвержены влиянию человеческого фактора.

Опыт непосредственных исполнителей процесса закупки естественным образом должен приниматься во внимание, поскольку от системы поддержки принятия решений ожидается дополнение и расширение этого опыта, а не его отрицание. Помимо этого, фиксация опыта одного сотрудника в системе позволяет использовать этот опыт другим сотрудникам, временно или на постоянной основе замещающим его. Однако при формализации возникают проблемы, связанные как со сложностью самого процесса для человека, не являющегося специалистом в инженерии знаний, так и с объемом работ. В связи с этим требуется реализация комплекса проектных, программных и организационных мер, таких как:

- разработка доступного и интуитивно понятного пользовательского интерфейса,
- использование ролевых профилей для сокрытия функциональных возможностей, не используемых на ежедневной основе,
- обучение персонала,
- выделение составляющих формальной модели оценки поставщика, которые могут быть установлены для групп поставщиков,
- использование иных источников в автоматическом режиме для сокращения количества поставщиков, требующих ручной обработки.

Отдельного внимания заслуживает тот факт, что опыт различных специалистов отдела закупок

предприятия может быть различным вследствие специфики их области деятельности. Это означает необходимость предусмотреть возможность индивидуализации параметров формальной модели оценки критериев. Упомянутые выше ролевые профили, таким образом, дополняются профилями специализаций.

Извлечение информации о поставщиках из открытых источников в сети Интернет предполагает обращение к ресурсам, обладающим следующими свойствами: достоверность, доступность, актуальность. В соответствии с этим, эффективным является извлечение информации из государственных ресурсов в сети Интернет. Среди таких ресурсов, имеющих отношение к поставщикам, особый интерес представляют рассмотренные ниже ресурсы.

Единая информационная система в сфере закупок 44 ФЗ и 223 ФЗ содержит информацию об осуществленных закупках в части поставщиков, ТМЦ, датах заключения договора и датах исполнения контракта, установленном сроке исполнения контракта, претензиях в случае неисполнения или ненадлежащего исполнения принятых поставщиком обязательств.

В реестре недобросовестных поставщиков содержится информация о тех поставщиках, которые уклонялись от заключения контрактов либо не исполнивших или ненадлежащим образом исполнивших обязательства по контрактам. Осуществление закупок у поставщиков, находящихся в этом реестре, запрещено по 44 ФЗ и 223 ФЗ, что является критически важным для судостроительного предприятия.

Единый государственный реестр юридических лиц позволяет получить информацию о датах регистрации поставщика как юридического лица, периодах приостановления деятельности, а также о видах деятельности.

В реестре иностранных агентов также перечислены физические и юридические лица, с которыми запрещено взаимодействие как с поставщиками по 44 ФЗ и 223 ФЗ.

Независимо от источника информации о поставщике данные требуется предварительно обработать: установить соответствие между наименованиями поставщиков и ТМЦ в базе данных ERP-системы и во внешних источниках, исключить дублирование, определить порядок учета недостающей информации в формальной модели оценки поставщика.

Для хранения собранных и очищенных данных о поставщиках используется база данных ERP-системы. Следует отметить, что обращение к внешним источникам предполагает контроль актуальности. Таким образом, необходимо хранить не только сами данные, но и дату и время их получения, а также организовать их обновление в автоматическом или ручном режиме по прошествии установленного времени.

B. Нечеткая формальная система анализа поставщиков

Функционирование нечеткой формальной системы интеллектуального анализа поставщиков базируется на нечеткой формальной модели оценки поставщика. В качестве теоретической основы для формулирования модели были выбраны модель нечеткого вывода Сугено [7] и метод анализа альтернатив Беллмана–Заде [9].

Необходимость комбинации этих двух подходов с дополнительными модификациями обусловлена требованием учета индивидуальной экспертной оценки отдельных параметров модели, желанием получить четкое значение оценки поставщика и наличием разных критериев: аддитивных и мультипликативных.

Модель нечеткого вывода Сугено предполагает представление формальной системы как системы продукции, antecedentes которых представляются нечеткими переменными, а консеквенты – четкой линейной комбинацией входных значений [8]. Для модели оценки поставщика из модели нечеткого вывода Сугено заимствована первая из этих особенностей. Линейная комбинация также используется, однако вместо самих входов используются степени истинности antecedentes. Коэффициенты при степенях истинности являются общими для всех продукции и определяют экспертную важность аддитивного критерия.

Метод анализа альтернатив Беллмана–Заде основан на выделении нечетких целей и ограничений, получающих оценки для каждой из альтернатив. К особенностям метода могут быть отнесены: разделение целей и ограничений, использование степеней истинностей целей и ограничений для заданной альтернативы для получения агрегированной оценки альтернативы и определение наилучшей альтернативы по максимальному значению [10]. Для модели оценки поставщика из метода анализа альтернатив Беллмана – Заде заимствованы первая и вторая из этих особенностей. Критерии (antecedents) модели оценки поставщика разделены на аддитивные и мультипликативные. Как было упомянуто выше, степени истинности по каждому из аддитивных критериев участвуют в формировании агрегированной оценки каждого поставщика. Кроме того, третья особенность используется в системе интеллектуального анализа: наилучший поставщик определяется наивысшим значением оценки по всему множеству поставщиков.

Для мультипликативных критериев, аналогично аддитивным, вычисляется степень истинности. Экспертная важность мультипликативных критериев учитывается как набор весов среднего геометрического взвешенного. Принципиально важной является возможность любого мультипликативного критерия, степень истинности которого равна нулю, установить оценку поставщика в нулевое значение.

Таким образом, оценка поставщика может быть вычислена по формуле:

$$R = \left(\prod_{i=1}^n M_i^{MW_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n MW_i}} \times \left(\frac{\sum_{j=1}^m (A_j \times AW_j)}{\sum_{j=1}^m AW_j} \right) \quad (1)$$

Здесь M – степень истинности мультипликативного критерия, MW – вес (важность) мультипликативного критерия, n – количество мультипликативных критериев, A – степень истинности аддитивного критерия, AW – вес (важность) аддитивного критерия, m – количество аддитивных критериев.

Нечеткая формальная модель оценки поставщика может быть выражена следующей продукцией:

$$\begin{aligned} \text{if} \quad & cm_1 \text{ is } FV_1 \cap \dots \cap cm_n \text{ is } FV_n \cap \\ & (ca_1 \text{ is } FV_{n+1} \cup \dots \cup ca_m \text{ is } FV_{n+m}) \quad (2) \\ \text{then} \quad & r = R \end{aligned}$$

Здесь cm – значение мультипликативного критерия, n – количество мультипликативных критериев, ca – значение аддитивного критерия, m – количество аддитивных критериев, FV – нечеткая переменная, формализующая оценку соответствующего критерия, r – выходное значение модели оценки поставщика, R – значение, вычисленное по формуле (1), \cap – операция указания на мультипликативный критерий, \cup – операция указания на аддитивный критерий.

Нечеткая формальная система интеллектуального анализа поставщиков является системой продукции (2), где каждая продукция описывает одного поставщика. Алгоритм нечеткого вывода подобен алгоритму нечеткого вывода Сугено: первый шаг – фазификация: для всех поставщиков вычисляются все степени истинности критериев; второй шаг – нечеткий вывод: на основе степеней истинности antecedentes вычисляются все консеквенты нечетких продукции; третий шаг – агрегирование: лучший поставщик определяется по принципу максимума оценки. Следует учитывать, что лучших поставщиков может быть больше одного.

С. Критерии модели оценки поставщика

При реализации рассмотренной модели были сформулированы следующие критерии.

Критерий минимальной партии поставки позволяет оценить, возможно ли осуществить закупку строго необходимого количества ТМЦ или потребуется закупить больше (в объеме минимальной партии). Данный аддитивный критерий формируется на основе опыта специалистов отдела закупок для тех случаев, когда он необходим. В противном случае для него устанавливается нулевой вес (важность).

Критерий срока поставки служит для оценки времени между заключением контракта и получением ТМЦ. Данный аддитивный критерий формируется на основе документов в ERP-системе и информации, полученной с сайта единой информационной системы в сфере закупок: датах заключения контрактов и датах исполнения контрактов. Итоговое значение критерия вычисляется как среднее по всем известным закупкам.

Критерий уровня качества ТМЦ показывает, какой поставщик предлагает более качественную продукцию. Данный аддитивный критерий формируется на основе информации, полученной с сайта единой информационной системы в сфере закупок: количеству претензий по совершенным закупкам при их наличии.

Критерий опыта поставщика определяет, насколько давно поставщик работает как юридическое лицо, имелись ли у него перерывы в деятельности, является ли деятельность по поставке искомого ТМЦ основной или дополнительной. Данный аддитивный критерий формируется на основе информации, полученной из ЕГРЮЛ: датах регистрации и датах ликвидации (при наличии последних), кодах общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД) по основной и дополнительным видам

деятельности. Код ОКВЭД может быть семантически сопоставлен с кодом общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности (ОКПД2) для учета соответствия вида деятельности поставщика тем ТМЦ, которые он предлагает закупить.

Критерий деловой репутации поставщика необходим для того, чтобы определить, возможно ли вообще осуществлять закупку у данного поставщика, а если возможно, то какие при этом существуют риски. Данный мультипликативный критерий формируется на основе информации, полученной из реестра недобросовестных поставщиков и реестра иностранных агентов. Нахождение в любом из этих реестров на момент сбора информации о поставщике устанавливает критерий в значение, дающее нулевую степень истинности. Нахождение в любом из этих реестров в прошлом позволяет установить критерий в значение, дающее степень истинности от нуля до единицы.

D. Формализация критериев

Каждый из критериев описывается лингвистической переменной, для которой формулируются нечеткие переменные со своими функциями принадлежности. Различные нечеткие переменные служат для индивидуализации оценки поставщиков под различные задачи: например, выбор поставщика при закупке с

ограничением по времени будет отличаться от выбора без ограничения по времени. Кроме того, необходимо иметь в виду, что один и тот же поставщик может иметь различную оценку для закупок различных ТМЦ.

Для формализации критериев в модуле анализа поставщиков предлагается использовать функции принадлежности следующих видов: линейную возрастающую, линейную убывающую, S-функцию, Z-функцию, кусочно-линейную на заданных точках. Для каждой из фиксированных функций настраиваются необходимые параметры: точка нуля, точка единицы. Произвольная функция позволяет при необходимости сформировать функцию принадлежности более сложной формы, в том числе треугольную или колоколообразную.

E. Пример реализации модуля интеллектуального анализа поставщиков

В результате разработки модуля интеллектуального анализа поставщиков были реализованы все основные рассмотренные выше подзадачи.

Пользовательский интерфейс подзадачи извлечения данных приведен на рис. 1. Поля поиска полностью соответствуют полям поискового запроса на сайте единой информационной системы в сфере закупок.

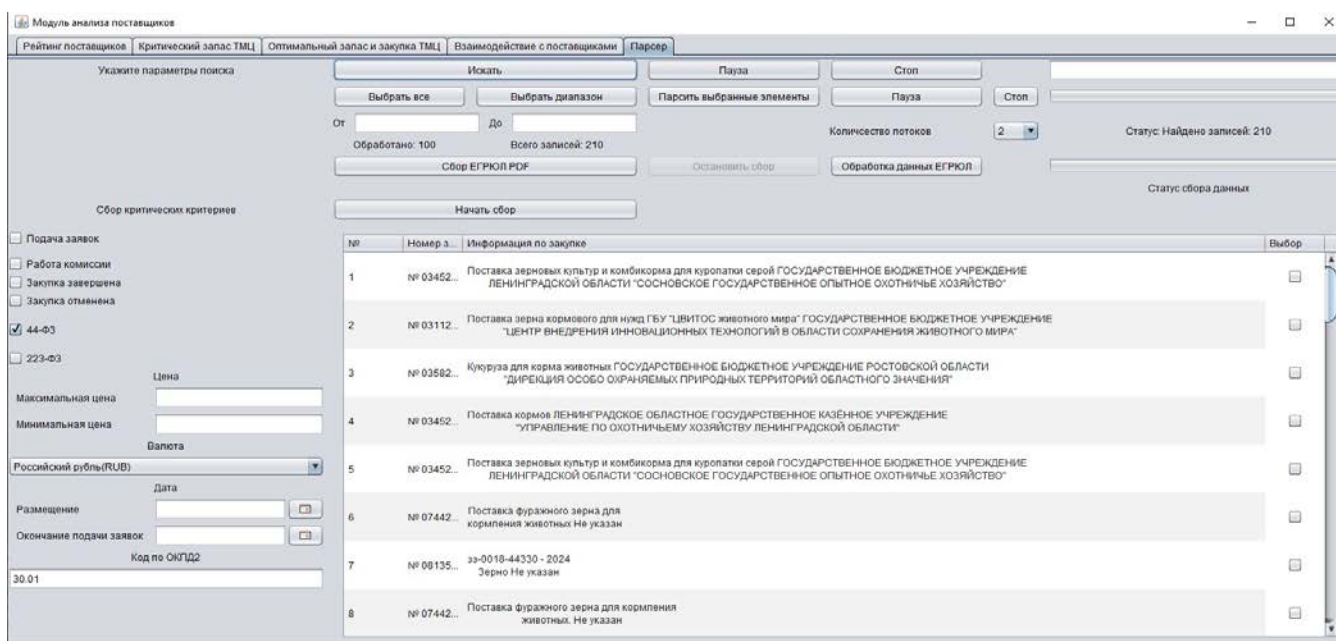


Рис. 1. Пользовательский интерфейс извлечения данных

Пример работы с критерием приведен на рис. 2. Минимальное значение для обратной линейной функции устанавливает точку 1, максимальное – точку 0. Относительная важность определяет вес критерия относительно других критериев.

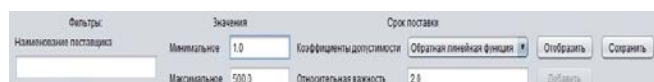


Рис. 2. Пользовательский интерфейс настройки критерия

Представленные примеры приведены для роли эксперта, который имеет возможность вносить любые изменения в нечеткую формальную систему.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поддержка принятия решений при сопровождении процесса закупок является одним из критически важных направлений цифровой трансформации судостроительного предприятия. Применение методов искусственного интеллекта позволяет обеспечить высокую гибкость и достоверность, а широкий набор используемых источников информации о поставщиках – полноту благодаря учету поставщиков, с которыми до этого не было взаимодействия.

Сформулированная и реализованная модель системы анализа поставщиков была успешно апробирована в ИИС «ЦВ». Полученные рейтинговые оценки поставщиков, у которых уже совершались закупки,

показали высокий уровень согласованности с опытом специалистов отдела закупок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Lipis A.V., Lipis D.A. Digital Shipyard: From Concept to Implementation. // AMEC 2025 E-Proceedings. National university of Singapore, December 10 – 12 2025 / Singapore, 2025.
- [2] Еремина Е.А., Ведерников Д.Н. Информационная система выбора поставщика на основе метода нечеткого логического вывода // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3.
- [3] Amindoust A., Saghafinia A. Supplier Evaluation Using Fuzzy Inference Systems. // Supply Chain Management Under Fuzziness. Studies in Fuzziness and Soft Computing, vol 313. / Kahraman, C., Öztaysi, B. (eds) Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-53939-8_1.
- [4] Stević Ž., Tanackov I., Vasiljević M., Novarić B., Stojić G. An integrated fuzzy AHP and TOPSIS model for supplier evaluation. // Serbian Journal of Management. 11. 15-27, 2016. URL: <https://doi.org/10.5937/sjm11-10452>.
- [5] Patra K., Mondal Sh. A supplier selection model with fuzzy risk analysis using the balanced solution technique with a soft set. // Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering. 18, 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prsa.2016.09.004>.
- [6] Rui Ma, Zhong Yang, Zhuowen Li, Xiaojie Zhang, Lingyun Mao. Research on Supplier Evaluation Method Based on Improved Fuzzy Evaluation Model. // Proceedings of the 4th International Conference on Economic Management and Big Data Applications, ICEMBDA 2023, October 27–29, 2023, Tianjin, China / China, 2024.
- [7] Sugeno M. Industrial Applications of Fuzzy Control. / Amsterdam ; New York : New York, N.Y., U.S.A: North-Holland; Sole distributors for the U.S.A. and Canada, Elsevier Science Pub. Co, 1985.
- [8] Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1985, vol. SMC-15, no. 1, pp. 116–132.
- [9] Bellman R.E., Zadeh L.A. (1970). Decision-Making in Fuzzy Environment / Management Science, 1970. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>.
- [10] Kosheleva O., Kreinovich V. Why Bellman-Zadeh approach to fuzzy optimization. // Applied Mathematical Sciences. 12. 517-522, 2018 URL: <https://doi.org/10.12988/ams.2018.8456>.