

Нечеткая оценка конкурентоспособности облачных программных продуктов

В. П. Семенов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
vps@etu.ru

Р. В. Соколов¹, И. Л. Андреевский²

Санкт-Петербургский государственный
экономический университет
¹rsok7@rambler.ru, ²ail@unecon.ru

Аннотация. Сформулирована задача нечеткой оценки конкурентоспособности облачных программных продуктов. Обоснована связь нечеткой оценки конкурентоспособности с цепочкой взаимосвязанных предприятий облачной информатизации. Предложена система критериев оценки конкурентоспособности облачных программных продуктов. Предложен порядок фаззификации исходных данных, вывода нечеткой оценки конкурентоспособности, дефаззификации и выбора конкурентоспособного варианта.

Ключевые слова: облачные программные продукты, конкурентоспособность, нечеткая оценка вариантов

I. ВВЕДЕНИЕ

Рынок облачных программных продуктов (ОПП) постоянно расширяется и увеличивается номенклатура программных продуктов, относящихся к одной и той же товарной группе по близости функционального назначения.

Возникает предметная конкуренция и возможность выбора для предприятия, которое предполагает разработку проекта облачной информационной системы (ОИС) на базе ОПП.

Оценка конкурентоспособности программных продуктов и выбора альтернативы затрудняется из-за отсутствия полной информации, ее расплывчатости и нечеткости.

Положительный опыт использования теории нечетких множеств для оценки и выбора вариантов проектов в различных областях экономики [2; 5 и др.] может быть распространен и на проекты ОИС с учетом их специфики.

Специфическими особенностями проектов ОИС является система критериев их оценки, а также то обстоятельство, что выбор системы зависит не только от качества облачного программного продукта производителя, но и от возможности внедрения программного продукта предприятием по проектированию ОИС и, наконец, от надежности работы центра обработки облачных данных (ЦОД) в процессе эксплуатации облачного программного продукта.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Нечеткая оценка конкурентоспособности облачного программного продукта как основы облачной информационной системы содержит четыре этапа:

1. Построение модели четкой оценки конкурентоспособности облачного программного продукта с учетом его внедрения и эксплуатации.

2. Фаззификация исходных данных четкой модели.

3. Вывод нечеткой оценки конкурентоспособности облачного программного продукта.

4. Дефаззификация результатов и обоснование выбора альтернативного варианта облачного программного продукта.

Рассмотрим последовательно эти этапы.

III. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБЛАЧНОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Система критериев оценки конкурентоспособности облачного программного продукта с учетом внедрения и эксплуатации представляет собой четырехугольник компромиссов, который включает следующие критерии: функциональная полнота и качество ОПП (функциональность), среднегодовая совокупная стоимость владения ОИС (стоимость), надежность и информационная безопасность эксплуатации облачной ИС (надежность), время проектирования и внедрения облачной информационной системы (время), рис. 1.

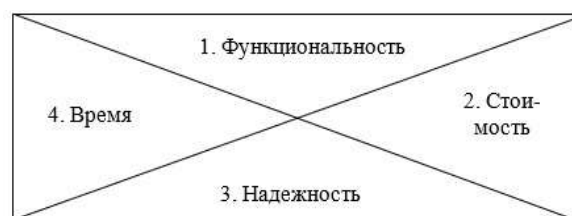


Рис. 1. Четырехугольник компромиссов критериев

Взаимосвязь предприятия – потребителя облачного программного продукта с предприятием по производству этого продукта осуществляется через посредников в лице предприятия по проектированию облачных информационных систем и предприятия по обработке облачных данных, центра обработки данных (рис. 2).



Рис. 2. Взаимосвязь предприятия-потребителя облачного программного продукта с предприятием-производителем этого продукта через предприятия-посредников

Цепочка взаимосвязанных предприятий информатизации, задействованных в создании, внедрении и эксплуатации облачного программного продукта в разной степени влияют на частные показатели по критериям оценки конкурентоспособности ОПП.

Их преимущественное влияние на величину этих показателей представлено в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 ПРЕИМУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЛАЧНОЙ ИНФОРМАТИЗАЦИИ НА ЧАСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО КРИТЕРИЯМ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОПП

Предприятия облачной информатизации	Частные показатели по критериям оценки конкурентоспособности ОПП			
	1. Функциональная полнота и качество ОПП	2. Среднегодовая совокупная стоимость владения ОПП	3. Надежность и информационная безопасность эксплуатации ОПП	4. Время проектирования и внедрения облачной ИС на базе ОПП
Предприятие по производству ОПП	+	+		
Предприятие по проектированию ОИС	+	+		+
Предприятие по обработке облачных данных		+	+	

На рис. 3 в качестве примера присутствуют 3 альтернативных цепочки предприятий информатизации.

На рис. 3 показана иерархическая структура влияния альтернативных цепочек предприятий облачной информатизации на интегрированный показатель оценки конкурентоспособности ОПП.



Рис. 3. Иерархическая структура влияния альтернативных цепочек предприятий облачной информатизации на интегрированный показатель оценки конкурентоспособности ОПП

В каждую альтернативную цепочку предприятий информатизации входят: предприятие по производству ОПП, предприятие по проектированию информационной системы на базе ОПП и предприятие по обработке облачных данных.

Для оценки конкурентоспособности облачного программного продукта предлагается использовать балльно-рейтинговую экспертизу на основе 100-балльной шкалы отношений, то есть интервальной шкалы с нулевой точкой отсчета.

Интегральный показатель рейтинговой оценки каждой i -ой альтернативы вычисляется в соответствии с формулой:

$$R_i = \sum_{j \in J} K_j R_{ij}, \forall i \in I, \quad (1)$$

где R_{ij} – экспертная рейтинговая оценка i -ой альтернативы по j -му критерию; I – множество альтернатив; J – множество критериев; K_j – удельный вес j -го критерия по экспертной оценке.

Сумма всех весовых коэффициентов K должна быть равна единице.

$$K = \sum_{j \in J} K_j = 1 \quad (2)$$

$$R_{ij} \geq R_{\text{доп } ij}, \forall i \in I, j \in J, \quad (3)$$

где $R_{\text{доп } ij}$ – минимально допустимое значение оценки i -й альтернативы по j -му критерию.

В результате расчетов по формуле (1) выбирается та i -я альтернатива, которой соответствует максимальное значение R_i .

IV. ФАЗЗИФИКАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Для фаззификации исходных данных будем использовать треугольные нечеткие числа в LR-форме, характеризующиеся левым (left) и правым (right) коэффициентами нечеткости функции принадлежности.

Предполагается, что нечеткие треугольные числа являются нормальными и унимодальными. Подобные нечеткие треугольные числа имеют максимальное значение функции принадлежности равное единице, причем это значение достигается только в одной точке действительной оси.

Нечеткая треугольная экспертная балльная оценка i -ой альтернативы по j -му критерию характеризуется формулой:

$$R_{ij}^A = \langle m_{R_{ij}}, \alpha_{R_{ij}}, \beta_{R_{ij}} \rangle, \quad (4)$$

где $m_{R_{ij}}$ – модальное значение треугольного числа, которому соответствует функция принадлежности $\mu_{R_{ij}} = 1$; $\alpha_{R_{ij}}, \beta_{R_{ij}}$ – соответственно левый и правый коэффициенты нечеткости.

Параметры нечеткой треугольной оценки значений частных альтернатив R_{ij}^A предлагается поставить в соответствие с наиболее вероятной, пессимистической и оптимистической экспертными оценками.

В этом случае:

$m_{R_{ij}}$ – значение наиболее вероятной экспертной оценки частного показателя альтернативы; $\alpha_{R_{ij}}$ – пессимистическая экспертная оценка значения частного показателя альтернативы; $\beta_{R_{ij}}$ – оптимистическая экспертная оценка значения частного показателя альтернативы.

При назначении балльной оценки критериев следует учитывать, что критерии делятся на прямые и обратные. Увеличение значений частных показателей по шкале абсолютных величин по прямым критериям приводит к повышению эффективности проекта, что отражается в увеличении значений балльной оценки этих показателей.

При уменьшении значений частных показателей по шкале абсолютных величин по обратным критериям эффективность проекта увеличивается, и балльная оценка значений частных показателей должна возрастать.

В нашем случае прямыми критериями являются функциональность и качество облачного программного продукта, а также надежность и информационная безопасность эксплуатации ОИС.

Обратными критериями являются время проектирования и внедрения ОИС, а также среднегодовая совокупная стоимость владения ею.

Удельный вес каждого критерия может быть представлен нечетким треугольным числом вида:

$$K_j^A = \langle m_{K_j}, \alpha_{K_j}, \beta_{K_j} \rangle, \quad (5)$$

где m_{K_j} – модальное значение удельного веса j -го критерия; $\alpha_{K_j}, \beta_{K_j}$ – соответственно левый и правый коэффициент нечеткости.

Модальные значения критериев должны соответствовать условию:

$$\sum_{j \in J} m_{K_j} = 1 \quad (6)$$

Для нахождения соответствующих модальных значений предлагается использовать попарное сравнение значений критериев в соответствии с методом анализа иерархий [6].

Используя шкалу относительной важности критериев, пример которой представлен в табл. 2, эксперт формирует матрицу попарных сравнений критериев. Пример матрицы попарных сравнений критериев конкурентоспособности облачных программных продуктов представлен в табл. 3.

ТАБЛИЦА 2 ШКАЛА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВАЖНОСТИ

Уровень важности	Количественное значение
Равная важность	1
Умеренное превосходство	2
Существенное превосходство	3

ТАБЛИЦА 3 МАТРИЦА ПОПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ КРИТЕРИЕВ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБЛАЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

	Функциональность	Стоимость	Надежность	Время	Собственный вектор	Модальное значение критерия
Функциональность	1	2	2	3	1,86	0,40
Стоимость	1/2	1	3	3	1,46	0,32
Надежность	1/2	1/3	1	3	0,84	0,18
Время	1/3	1/3	1/3	1	0,44	0,10

Коэффициенты нечеткости величины K_j^A отражают субъективизм и расплывчатость представления о важности тех или иных критериев. По решению экспертов возможны незначительные отклонения от модальных значений m_{K_j} в ту или иную сторону.

Однако при назначении этих отклонений в виде коэффициентов нечеткости целесообразно соблюдать балансировку расплывчатости их значений в большую или меньшую сторону в соответствии с формулой:

$$\sum_{j \in J} (m_{K_j} - \alpha_{K_j}) = \sum_{j \in J} (\beta_{K_j} - m_{K_j}) \quad (7)$$

Минимальная граница допустимых значений частных показателей в виду объективных и субъективных обстоятельств является нечеткой величиной и может быть представлена выражением:

$$R_{\text{доп } ij}^A = \langle m_{R_{\text{доп } ij}}, \alpha_{R_{\text{доп } ij}}, \beta_{R_{\text{доп } ij}} \rangle, \quad i \in I, j \in J, \quad (8)$$

где $m_{R_{\text{доп } ij}}$ – модальное значение треугольной нечеткой величины $R_{\text{доп } ij}^A$; $\alpha_{R_{\text{доп } ij}}, \beta_{R_{\text{доп } ij}}$ – соответственно левый и правый коэффициент нечеткости.

V. ВЫВОД НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОБЛАЧНОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

Нечеткая оценка конкурентоспособности ОПП выражается следующей формулой, полученной введением нечеткости в значения аргументов формулы (1):

$$R_i^A = \sum_{j \in J} K_j^A R_{ij}^A, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (9)$$

В предлагаемом алгоритме вывода показателя R_i^A присутствуют операции умножения и сложения треугольных нечетких чисел.

Операция произведения и сложения треугольных нечетких чисел выполняется в соответствии с известными правилами [4].

Сумма нечетких весовых коэффициентов K^A подсчитывается по формуле:

$$K^A = \sum_{j \in J} K_j^A \quad (10)$$

При соблюдении условия (7) балансировки расплывчатости значений K_j^A средняя величина ближайшего четкого интервала нечеткого числа K^A равняется единице.

Соблюдение условия упорядочивания нечетких чисел в виде выражения:

$$R_{ij}^A \geq R_{\text{доп } ij}^A, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

целесообразно проверять, обращаясь к средним значениям ближайших четких интервалов этих нечетких чисел.

Подобный интегральный метод сравнения нечетких чисел рассмотрен в работе [3].

Считается, что условие (11) соблюдается, если выполняется условие:

$$R_{ij}^c \geq R_{\text{доп } ij}^c, \quad \forall i \in I, j \in J, \quad (12)$$

где R_{ij}^c и $R_{\text{доп } ij}^c$ средние значения ближайших четких интервалов нечетких чисел R_{ij}^A и $R_{\text{доп } ij}^A$.

VI. ДЕФФАЗИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВАРИАНТА ОБЛАЧНОГО ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

Обоснование выбора альтернативного варианта облачного программного продукта на основании его наибольшей конкурентоспособности $R_i^A, \forall i \in I$ требует деффазификации нечетких оценок конкурентоспособности и определения средних значений ближайших четких интервалов R_i^c .

Получение ближайшего четкого интервала осуществляется на уровне функции принадлежности $\mu_{R_i^A} = 0,5$ и определяется точками пересечения уровня этой функции принадлежности со сторонами треугольника нечеткого числа.

Максимальное среднее значение четкого интервала $R_i^c = \max_i \{R_i^c, i \in I\}$ соответствует наибольшей конкурентоспособности i -го варианта ОПП.

Повышению интегрального показателя конкурентоспособности ОПП способствует согласование экономических интересов предприятий информатизации, взаимосвязанных в производстве, внедрении и эксплуатации облачных информационных продуктов [1].

Моделирование нечеткой оценки конкурентоспособности облачных программных продуктов может осуществляться в средах MATLAB, fuzzyTECH и др.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- сформулирована задача нечеткой оценки конкурентоспособности ОПП;
- обоснована связь конкурентоспособности ОПП с цепочкой взаимосвязанных предприятий облачной информатизации и предложена система критериев конкурентоспособности ОПП;
- предложен порядок фазификации исходных данных, вывода нечеткой оценки конкурентоспособности ОПП, деффазификации и выбора наиболее конкурентоспособного варианта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Андреевский И.Л., Соколов Р.В. Согласование экономических интересов предприятий информатизации в сфере облачных информационных систем // Известия СПбГЭУ, 2021, № 1.
- [2] Аньшан В.М. и др. Применение теории нечетких множеств и задач формирования портфеля проектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hse.ru>
- [3] Воронцов Я.А., Матвеев М.Г. Методы параметризованного сравнения нечетких треугольных и трапециевидных чисел // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 2014, № 2.
- [4] Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
- [5] Романюк В.Б. Рейтинговая оценка проектов выполнения государственных заказов. Вестник науки Сибири. 2012, № 3.
- [6] Соколов Р.В., Андреевский И.Л. Проектирование и эксплуатация информационных систем. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2017. 382 с.