DOI: 10.22394/2304-3369-2020-4-102-114 ВАК: 08.00.05

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИК ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

С.Ф. Молодецкая[1][a]

[a]Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

АННОТАЦИЯ:
В статье проведен анализ экономико-математических моделей и методов поддержки принятия решений в условиях неопределенности. Изучен отечественный и зарубежный опыт экономических ситуаций, связанных с распространением знаний, определены основные аспекты экономики знаний. Рассмотрены методы представления знаний, в частности определены правила построения продукционной модели знаний. Проведен анализ интеллектуальных систем, основанных на обучении и самообучении (с «учителем», без «учителя») и сделан вывод о том, что для оценки экономических процессов необходимо рассматривать комплекс методик, связанных с плохо формализуемыми задачами, к которым относятся экономические задачи.

Методологическая база исследования включает методику нечеткого управления, методику Саати и методику байесовских сетей, которые лежат в основе разработанной экономико-математической модели. **Теоретическая и практическая значимость** исследования заключается в обосновании необходимости разработки комплексной оценки эффективности мобильного приложения.

В качестве **объекта исследования** выбран ПАО «СКБ-банк», **предмет исследования** – разработка дополнительного модуля «Проведение финансовых операций по карте ПАО „СКБ-банк“» мобильного приложения.

Проведена оценка эффективности разработки, в частности при разработке модуля «Проведение финансовых операций по карте ПАО „СКБ-банк“» мобильного приложения. Для этого определены метрики, которые послужили критериями для определения эффективности проекта, а также определены риски проекта, оценка которых получена на основе теории нечетких множеств. Сформированные методики поддержки принятия решений в условиях неопределенности позволили сделать вывод об эффективности проекта в целом. Разработанная модель может быть применена для оценки эффективности мобильных приложений для любых компаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейронные сети, байесовские сети доверия, методика Саати, вероятностный метод, интеллектуальные системы, экспертные системы, экономико-математические модели, Data-Mining, система Netica, оптимальный выбор.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Молодецкая С.Ф. (2020). Формирование методик поддержки принятия решений в условиях неопределенности // Вопросы управления. № 4. С. 102–114.

В настоящее время принятие решений на основе опыта и интуиции не может дать наилучших результатов. Современное состояние экономики требует применения системного и комплексного подхода при решении экономических задач. Основу такого подхода составляют экономико-математические модели и кибернетические методы построения взаимосвязей. Практически любую экономическую задачу можно преобразовать в экономико-математическую модель. Таким образом, экономико-математические модели – это формализованное описание экономических процессов и явлений с целью выявления основных взаимосвязей между ними.

[1]AuthorID РИНЦ: 704035

© Молодецкая С.Ф., 2020

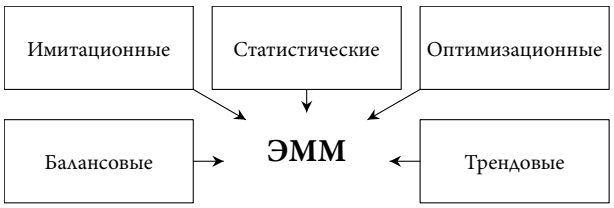


Рисунок 1 – Классификация экономико-математических моделей
Figure 1 – Classification of economic and mathematical models

Экономико-математические модели позволяют решать аналитические задачи различных направлений экономической деятельности. При анализе экономических процессов существуют определенные типы экономико-математических моделей (ЭММ). Рассмотрим их классификацию.

– *балансовые*: экономические расчеты основаны на принципе баланса наличия, поступления, производства и расходования различных видов ресурсов;

– *трендовые*: проводится моделирование на основе трендов. На основе разработанной модели можно дать прогноз;

– *оптимизационные*: определение наилучшего варианта транспортных перевозок, определение оптимального количества производства продукции при определенных запасах;

– *статистические*: изучение взаимосвязей экономических показателей степени влияния одних факторов на другие;

– *имитационные*: имитация процесса функционирования изучаемого объекта во времени.

Для того чтобы получить достоверные результаты, балансовых моделей недостаточно. Более точные оценки экономических процессов дают статистические методы и имитационное моделирование с математическим описанием экономических процессов. Можно создать экономико-математическую модель имитации экономических процессов, основу которой будут составлять реальные события.

Экономико-математическая модель должна быть, во-первых, динамической, т. к. должна учитывать временные и причинные взаимосвязи и ограничения любой сложности, учитывать случайные факторы.

Таким образом, в динамические системы при решении экономических задач должны быть заложены методики, с помощью которых можно проводить расчеты в условиях неопределенности. Необходима интеграция имитационного моделирования с так называемыми технологиями интеллектуального анализа данных (*DataMining*), что и происходит в цифровом мире.

DataMining – это технология, которая позволяет осуществлять поиск в больших объемах данных неочевидных, объективных и полезных на практике закономерностей. Инструменты *DataMining* могут находить закономерности и самостоятельно строить гипотезы о взаимосвязях.

Задачами Data Mining являются: классификация; кластеризация; прогнозирование; ассоциация; визуализация; анализ и обнаружение отклонений; оценивание; анализ связей; подведение итогов.

Существуют методы, благодаря которым *DataMining* может найти закономерности и самостоятельно построить гипотезы о взаимосвязях. К ним относятся технологические, статистические и кибернетические методы. Остановимся на последних. К кибернетическим методам относятся:

– искусственные нейронные сети (распознавание, кластеризация, прогноз);

– эволюционное программирование;

– генетические алгоритмы (оптимизация);

– ассоциативная память (поиск аналогов, прототипов);

– нечеткая логика;

– деревья решений;

– системы обработки экспертных знаний.

Кибернетические методы в экономике, или экономическая кибернетика, появилась в 1960-х годах прошлого века в научных трудах С. Немчинова. В 1965 году выходит его книга «Экономико-математические методы и модели», в которой построение экономико-математической модели заложено в основу управления производством. Применение кибернетических методов решает задачи не только касающиеся данных с точными показателями, они позволяют также решать задачи, связанные с неточной и размытой информацией.

Существует ряд кибернетических методов принятия решений, которые позволяют выбирать наилучший вариант из множества решений тогда, когда исследуется неопределен-

ность в условиях полной определенности. К таким методикам можно отнести: теорию нечетких множеств, методику Саати, байесовские сети доверия и др. Ниже приведены примеры применения этих методик.

Рассмотрим расчет эффективности проекта. В частности, оценим эффект при разработке модуля «Проведение транзакций по карте» мобильного приложения «СКБ-банк».

Цель – дать комплексную оценку эффективности проекта в условиях неопределенности.

Теория нечетких множеств

Понятие «нечёткое множество» впервые ввел Лотфи Заде в 1965 году. Он допустил, что характеристическая функция множества может принимать любые значения на интервале [0; 1]. Созданы научные школы, идеи которых основаны на учениях Л. Заде, Р. Беллмана, М. Герца, Д. Дюбуа и Х. Прада. Большое влияние на развитие этого направления оказали труды российских ученых Д. А. Поспелова, А. П. Рыжова, А. Ф. Блишуна, С. А. Орловского, И. З. Батыршина, В. П. Бочарникова, А. В. Михалёва и др. Теория нечетких множеств нашла свое применение при решении экономических задач. Зачастую бывает ситуация, когда лицо, принимающее решение, не имеет в полном объёме данные и связи между ними. Говорят, он действует в условиях неполной и неточной информации. В этом случае от лица, принимающего решение, требуется в интервале задать значения прогнозируемых параметров. Тогда ожидаемый эффект оценивается экспертом как нечеткое число с определенной степенью нечеткости, которую также задает эксперт.

Приведем пример. Пусть X – универсальное множество, x – элемент этого множества, а B – некоторое свойство. Четкое подмножество A универсального множества X, элементы которого удовлетворяют свойству B, определяется как множество упорядоченных пар $A = \{\mu_A(x) / x\}$, где $\mu_A(x)$ – характеристическая функция, принимающая значение 1, если x удовлетворяет свойству B, и 0, если этому свойству не удовлетворяет [3].

Нечеткое подмножество отличается от обычного тем, что для элементов x из X нет однозначного ответа «да-нет» относительно свойства B. В связи с этим, нечеткое подмножество A универсального множества X определяется как множество упорядоченных пар $A = \{\mu_A(x) / x\}$, где $\mu_A(x)$ – характеристическая функция принадлежности (или просто функция принадлежности), принимающая значения в некотором вполне упорядоченном множестве $M \in [0; 1]$. Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности элемента x подмножеству A.

Применим теорию нечетких множеств к следующей задаче.

Требуется дать количественную оценку истинности экспертного заключения об оценке рисков мобильного приложения «СКБ-банк».

Любой проект, связанный с разработкой мобильных приложений имеет риски, которые можно классифицировать на несколько категорий:

1. *Кадры.* Каждый из участников проекта закреплен за реализацией определенной задачи. При разработке программного обеспечения участниками проекта являются программисты-разработчики, тестировщики и т. д. Если тот или иной участник проекта прекращает работу над проектом, то это может привести к срыву проекта.

2. *Знания.* Команда разработчиков должна обладать достаточным уровнем знаний, в противном случае это может привести к непониманию задачи и способов ее реализации участниками проекта.

3. *Продуктивность.* Когда проект достаточно большой, то участники проекта могут выполнять задачи с задержкой во времени. Задача руководителя проекта – разбить задачи на подпроекты (спринты), чтобы был промежуточный результат и долгосрочный проект был преобразован в несколько краткосрочных, имея при этом контрольные точки.

4. *Бюджет.* Определенная сумма денег выделяется на проект (планирование снизу вверх). Для того чтобы стоимость проекта постоянно контролировалась, необходимо разбивать проект на подпроекты (спринты) и постоянно проводить финансовый анализ этапов проекта.

Таким образом, определим риски проекта. При написании кода может оказаться, что код написан с точки зрения эффективности неудовлетворительно. Следовательно, его необхо-

Таблица 1 – Определение границ функции принадлежности нечеткого множества
Table 1 – Determination of the boundaries of the membership function of a fuzzy set

Терм G_k	**Функция принадлежности нечеткого множества G_k**
G_5 – очень низкий уровень риска $G_5 \in [0; 0{,}25]$	$\mu_5 = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < x \leqslant 0{,}15 \\ 10\,(0{,}25 - g), & \text{если } 0{,}15 < x \leqslant 0{,}25 \end{cases}$
G_4 – низкий уровень риска $G_4 \in [0{,}15; 0{,}45]$	$\mu_4 = \begin{cases} 1 - 10\,(0{,}25 - g), & \text{если } 0{,}15 < x \leqslant 0{,}25 \\ 1, & \text{если } 0{,}25 < x \leqslant 0{,}35 \\ 10\,(0{,}45 - g), & \text{если } 0{,}35 < x \leqslant 0{,}45 \end{cases}$
G_3 – средний уровень риска $G_3 \in [0{,}35; 0{,}65]$	$\mu_3 = \begin{cases} 1 - 10\,(0{,}45 - g), & \text{если } 0{,}35 < x \leqslant 0{,}45 \\ 1, & \text{если } 0{,}45 < x \leqslant 0{,}55 \\ 10\,(0{,}45 - g), & \text{если } 0{,}55 < x \leqslant 0{,}65 \end{cases}$
G_2 – высокий уровень риска $G_2 \in [0{,}55; 0{,}85]$	$\mu_2 = \begin{cases} 1 - 10\,(0{,}65 - g), & \text{если } 0{,}55 < x \leqslant 0{,}65 \\ 1, & \text{если } 0{,}65 < x \leqslant 0{,}75 \\ 10\,(0{,}85 - g), & \text{если } 0{,}75 < x \leqslant 0{,}85 \end{cases}$
G_1 – предельно высокий уровень риска $G_1 \in [0{,}55; 0{,}85]$	$\mu_1 = \begin{cases} 1 - 10\,(0{,}85 - g), & \text{если } 0{,}75 < x \leqslant 0{,}85 \\ 1, & \text{если } 0{,}85 < x \leqslant 1 \end{cases}$

димо переписать, а это приведет к увеличению длительности работы над проектом.

Если предварительно не построена логическая и математическая модель между участниками проекта, это приведет к несогласованной работе, вследствие чего на определенном этапе произойдет непонимание между программистами, и это приведет к переписыванию кода, что в свою очередь повлечет увеличении длительности проекта.

Если предварительно не проведен анализ бизнес-процесов, то это приведет к повторному переписыванию кода, т. к. логика и структура приложения будет проанализирована не полностью.

Для работы над проектом требуется подбирать участников проекта с относительно одинаковым уровнем знаний.

Так как приложения разрабатываются под разные платформы и с разной скоростью работают программисты, это может привести к тому, что одни программисты будут ждать других для того, чтобы сдать приложение на тестирование. Это в свою очередь приводит к неэффективному использованию рабочего времени программиста.

Проведем оценку рисков разработки модуля «Проведение транзакций по карте» мобильного приложения «СКБ-банк» на основе теории нечетких множеств.

Введем лингвистическую переменную g – оценка рисков разработки мобильного приложения. Универсальным множеством для переменной g является отрезок [0; 1].

Определим терм-множество для g:

G_1 – очень высокий уровень риска;

G_2 – высокий уровень риска;

G_3 – средний уровень риска;

G_4 – низкий уровень риска;

G_5 – очень низкий уровень риска.

Каждый терм множества g будет являться именем нечеткого подмножества в интервале от [0; 1]. Составим таблицу функции принадлежности подмножеств терм-множества g [3].

Рассмотрим значение функции принадлежности как меру истинности G_i. Заключение о рисках разработки модуля «Проведение транзакций по карте» мобильного приложения «СКБ-банк» будем делать на основе показателей рисков $x = x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$. Определим показатели риска разработки:

x_1 – неверная структурированность бизнес-процессов дизайнером;

$$g \begin{bmatrix} G_1 \in [0{,}75; 1] \\ G_2 \in [0{,}55; 0,85] \\ G_3 \in [0{,}35; 0,65] \\ G_4 \in [0{,}15; 0,45] \\ G_5 \in [0; 0,25] \end{bmatrix} x \in \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11}, B_{21}, B_{31}, B_{41}, B_{51} \\ B_{12}, B_{22}, B_{32}, B_{42}, B_{52} \\ B_{13}, B_{23}, B_{33}, B_{43}, B_{53} \\ B_{14}, B_{24}, B_{34}, B_{44}, B_{54} \\ B_{15}, B_{25}, B_{35}, B_{45}, B_{55} \end{bmatrix}$$

Рисунок 2 – Алгоритм описания рисков разработки приложения нечеткими числами

Figure 2 – Algorithm for describing the risks of developing an application with fuzzy numbers

Таблица 2 – Риски проекта
Table 2 – Project risks

Риск	Причина	Оценка аналитиков
Неверная структурированность бизнес-процессов дизайнером (x_1)	некомпетентность сотрудников	0,29
Неодновременное завершение задач разработчиками разных платформ (x_2)	разная продуктивность работы разработчиков	0,5
Увеличение требований со стороны заказчика в ходе реализации проекта (x_3)	изменение из-за длительности выполнения заказа	0,44
Текучесть кадров (x_4)	большая загруженность, дискомфорт среды	0,28
Нарушение спецификаций (x_5)	недостаточное согласование	0,15
Низкая производительность (x_6)	отсутствие разбивки проекта на короткие этапы (спринты)	0,47
Увеличение времени сдачи проекта (x_7)	задержки релизов продукции	0,26

x_2 – неодновременное завершение задач разработчиками разных платформ;

x_3 – увеличение требований со стороны заказчика в ходе реализации проекта;

x_4 – текучесть кадров;

x_5 – нарушение спецификаций;

x_6 – низкая производительность;

x_7 – увеличение времени сдачи проекта.

Переменные по рискам разработки приложения – это числовые переменные, оценки которым присвоены группой экспертов. Сведем оценки рисков разработки в таблицу. Оценка дана по шкале от 0 до 1, где 0 – отсутствие риска, 1 – очень высокая доля риска.

Каждый из этих рисков – это переменная, принимающая определенные значения на заданном промежутке времени. Каждую из этих переменных следует рассматривать как множество лингвистической переменной Gi, которая состоит из термов:

B_1 – очень низкий уровень x_i;

B_2 – низкий уровень x_i;

B_3 – средний уровень x_i;

B_4 – высокий уровень x_i;

B_5 – очень высокий уровень x_i.

Таблица 3 – Определение границ терм-множества для каждого значения функции истинности терма G_i
Table 3 – Determination of the boundaries of the term-set for each value of the G_i term truth function

Показатель	Терм				
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}	B_{i4}	B_{i5}
x_1	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_2	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_3	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_4	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_5	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_6	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)
x_7	(0; 0,1; 0,2; 0,3)	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)	(0,4; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 0,8; 0,9)	(0,8; 0,9; 1)

Таблица 4 – Таблица значений функции принадлежности
Table 4 – Table of values of the membership function

Значение x	Трапезоидные числа	Интерпретация термов B_i	Значение μ
$X_1 = 0,29$	$B_{11} = (0; 0,1; 0,2; 0,3)$	очень низкий уровень показателя x_1	0,1
	$B_{12} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	низкий уровень показателя x_1	0,9
$X_2 = 0,5$	$B_{22} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	низкий уровень показателя x_2	0
	$B_{23} = (0,4; 0,5; 0,6; 0,7)$	средний уровень показателя x_2	1
$X_3 = 0,44$	$B_{32} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	низкий уровень показателя x_3	0,6
	$B_{33} = (0,4; 0,5; 0,6; 0,7)$	средний уровень показателя x_3	0,4
$X_4 = 0,28$	$B_{41} = (0; 0,1; 0,2; 0,3)$	очень низкий уровень показателя x_4	0,2
	$B_{42} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	низкий уровень показателя x_4	0,8
$X_5 = 0,15$	$B_{51} = (0; 0,1; 0,2; 0,3)$	низкий уровень показателя x_5	1
$X_6 = 0,47$	$B_{62} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	средний уровень показателя x_6	0,3
	$B_{63} = (0,4; 0,5; 0,6; 0,7)$	средний уровень показателя x_6	0,7
$X_7 = 0,26$	$B_{71} = (0; 0,1; 0,2; 0,3)$	очень низкий уровень показателя x_7	0,4
	$B_{72} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$	низкий уровень показателя x_7	0,6

Таблица 5 – Расчет веса терм-множества
Table 5 – Calculating the weight of a term set

Вес терма p_i лингвистической переменной	Терм G_k	**Середина промежутка G_k**	$g_i = p_i \bar{g}_i$	**Сумма μ_k**
$p_5 = 1/7 \cdot 0 = 0$	$G_5 \in [0; 0{,}25]$	0,125	0	0
$p_4 = 1/7 \cdot 0 = 0$	$G_4 \in [0{,}15; 0{,}45]$	0,3	0	0
$p_3 = 1/7 \cdot 2{,}8 = 0{,}4$	$G_3 \in [0{,}35; 0{,}65]$	0,5	0,2	2,8
$p_2 = 1/7 \cdot 3{,}2 = 0{,}457$	$G_2 \in [0{,}55; 0{,}85]$	0,7	0,32	3,2
$p_1 = 1/7 \cdot 1{,}5 = 0{,}214$	$G_1 \in [0{,}75; 1]$	0,0875	0,188	1,5

Проведем расчеты и перейдем от показателей эффективности разработки модуля «Проведение транзакций по карте» мобильного приложения «СКБ-банк» к высказываниям о степени риска разработки. Для этого необходимо рассчитать наблюдаемый вес p по каждой переменной g:

$$p_k = \sum_{i=1}^{5} r_i \, \mu_{ki}, \quad k = 1, \ldots, 5, \qquad (1)$$

где r_i – теоретический вес.

Так как показатели риска разработки модуля мобильного приложения равнопредпочтительны, то они обладают равным весом: 1/7.

Проведем расчеты функции принадлежности μ для $X_1 = 0{,}3$. Состояние $B_{11} = (0; 0{,}1; 0{,}2; 0{,}3)$ может быть оценено как «очень низкий уровень показателя x_1». Тогда

$$\mu_{11} = \frac{x - 0{,}3}{0{,}2 - 0{,}3} = \frac{0{,}29 - 0{,}3}{0{,}2 - 0{,}3} = 0{,}1,$$

согласно формуле функции принадлежности трапезоидного нечеткого числа (a_1, a_2, a_3, a_4).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если} \quad x < a_1; \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если} \quad a_1 < x \leqslant a_2; \\ 1, & \text{если} \quad a_2 < x \leqslant a_3; \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если} \quad a_3 < x \leqslant a_4; \\ 0, & \text{если} \quad a_4 < x. \end{cases} \qquad (2)$$

Оценка истинности $\mu_{11} = 0{,}1$; также оценим состояние $B_{12} = (0{,}2; 0{,}3; 0{,}4; 0{,}5)$. Терм B_{12} может быть оценен как «низкий уровень показателя c_1». Тогда

$$\mu_{12} = \frac{x - 0{,}2}{0{,}2 - 0{,}3} = \frac{0{,}29 - 0{,}2}{0{,}3 - 0{,}2} = 0{,}9.$$

Проведем расчет весов терм-множества.

$$g = \sum_{i=1}^{5} p_k \bar{g}_k, \quad k = 1, \ldots, 5, \qquad (3)$$

Найдем значение функции принадлежности $\mu_k(g)$ по формуле $g_i = p_i \bar{g}_i$ для $g = 0{,}708$.

Так как g лежит в интервале от [0,55; 0,85], то $G_2(\mu_2) = 1$, что означает «высокий уровень риска разработки мобильного приложения». Таким образом, теория нечетких множеств дает возможность на основе количественных показателей провести оценку эффективности разработки мобильного приложения. Для ПАО «СКБ-банк» проводить разработку мобильного приложения в части проведения финансовых операций имеет высокий риск.

Методика Саати

Рассмотрим методику Т. Саати как инструмент для анализа эффективности мобильного приложения. В начале 1970 года американский математик Томас Саати разработал процедуру поддержки принятия решений, которую назвал *Analytic hierarchy process* (аналитический иерархический процесс, или АИП). Этот метод получил широкое распространение и активно применяется в настоящее время.

Проведем анализ с помощью методики Саати. Постановка задачи: требуется дать количественную оценку эффективности мобильного приложения «СКБ-банк».

Для оценки параметра «эффективность приложения» использовались критерии: лояльность клиентов, количество скачиваний приложения и количество транзакций через приложение. Анализ проводился не только на основе статистики, полученной от аналитиков и сервиса *AppStoreConnect*, но и на основе сравнения с другими банками – ПАО «ВТБ-банк», ПАО «Сбербанк».

Составим алгоритм расчета эффективности приложения.

1. Определим критерии для множества решений. Множеством решений будем называть мобильные приложения каждого из бан-

ков. Для сокращенной записи будем использовать только названия банков. Критериями будем называть: лояльность клиентов, количество скачиваний и количество транзакций. По этим показателям будет оцениваться эффективность мобильного приложения.

2. Проведем построение матрицы парных сравнений по каждому из критериев и построим матрицу сравнения критериев между собой. На основе этих матриц определим рейтинги по критериям и веса самих критериев.

3. Для вычисления итогового рейтинга, проведем свертку результатов по формуле: сложение произведений рейтингов по критериям на веса критериев.

Рассмотрим критерий «Лояльность клиентов». Это показатель, который трудно измерить. В отечественной практике для оценки этого показателя используются различные методики сбора и обработки первичной информации. Одной из таких методик является опрос.

Проведен опрос среди клиентов банков: «СКБ-банк», «ВТБ-банк», «Сбербанк». Клиентам банков задавались вопросы, ответы оценивались по десятибальной шкале.

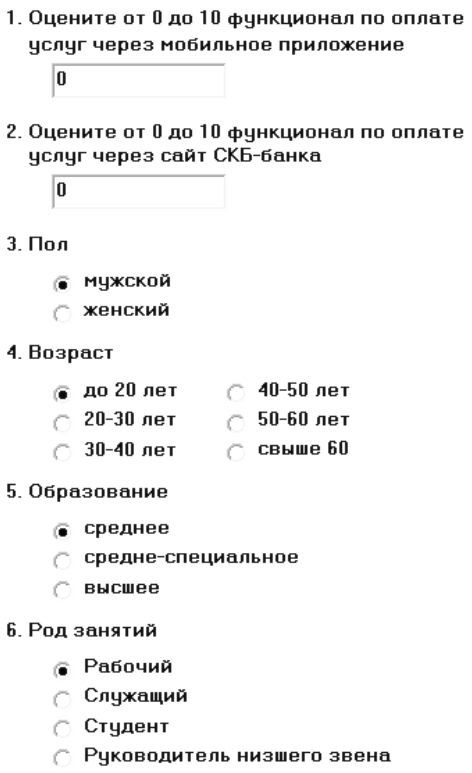


Рисунок 3 – Пример анкеты
Figure 3 – Sample questionnaire

Таблица 6 – Нормирование по критерию «Лояльность клиентов»
Table 6 – Rationing according to the criterion "Customer loyalty"

Варианты решения	**Лояльность клиентов**	**Нормированное значение**
СКБ-банк	9	0,46
Сбербанк	10	0,39
ВТБ-банк	7	0,27
Сумма	26	1

Таблица 7 – Попарное сравнение по критерию «Лояльность клиентов» (матрица *A*)
Table 7 – Pairwise comparison according to the criterion "Customer Loyalty"(matrix *A*)

	СКБ-банк	Сбербанк	ВТБ-банк
СКБ-банк	1	1,285714286	1,8
Сбербанк	0,777777778	1	1,4
ВТБ-банк	0,555555556	0,714285714	1

Функциональные возможности мобильного приложения ПАО «СКБ-банк» клиенты банка оценили в 9 баллов, ПАО «Сбербанк» – 10 баллов, ВТБ-банк – 7 баллов, всего – 26 баллов. Проведем нормирование на единицу.

Далее проведем попарное сравнение альтернатив (банки: СКБ-банк, ВТБ-банк, Сбербанк) по критерию «Лояльность клиентов». Для этого составим матрицу нормированных значений по критерию «Лояльность для всех банков». Пересечением строк и столбцов является отношение оценки, данной клиентами одного банка к другому (отношение критерия *i* к критерию *j*, где *i* – строка, *j* - столбец). Сведем полученные результаты в таблицу (матрица *A*):

Согласно методике Т. Саати, оценку каждого решения по выбранному критерию (w_1, w_2, ..., w_n) можно найти как транспонированную матрицу парных сравнений $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$, которая соответствует максимальному значению $L_{\max}$ матрицы этого решения (матрица *A*). Следовательно, можно решить матричное уравнение:

$$(A - L_{\max} \cdot E) \cdot w = 0, \qquad (4)$$

где E – единичная матрица.

$$L_{\max} \cdot E = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

Вычислим $A - L_{\max} \cdot E$:

$$A - L_{\max} \cdot E = \begin{pmatrix} -2 & 1,285714 & 1,8 \\ 0,777778 & -2 & 1,4 \\ 0,555556 & 0,714286 & -2 \end{pmatrix}.$$

	Лояльность	Кол-во и доля транзакций	Кол-во скачиваний
Лояльность	1,00	1219,81	2193281199,00
Кол-во и доля транзакций	0,00	1,00	1798054,69
Кол-во скачиваний	0,00	0,00	1,00

L	3	>=	3
w1	0,998362086	>=	0
w2	0,001636914	>=	0
w3	0	>=	0
w1+w2+w3	0,999999	=	1

w1	w2	w3
0,998362086	0,001636914	0

0,999999

3	0	0
0	3	0
0	0	3

-2	1219,8	2193281199,0044
0,000819801	-2	1798054,692
4,55938E-10	5,56157E-07	-2

-4,02089E-06
-0,002455369
1,36557E-09

0,00000602885259088

Рисунок 4 – Сравнение критериев
Figure 4 – Comparison of criteria

Определим взвешенный рейтинг (это рейтинги самих критериев называются весами и используются в процедуре построения результирующего рейтинга различных вариантов решения).

Таблица 8 – Взвешенный рейтинг
Table 8 – Weighted rating

L	3	⩾	3
w_1	0,899999101	⩾	0
w_2	0,019999979	⩾	0
w_3	0,07999992	⩾	0
$w_1 + w_2 + w_3$	0,999999	=	1

Проведем расчеты $(A - L_{\max} \cdot E) \cdot w$:

$$\begin{pmatrix} -2 & 1,285714 & 1,8 \\ 0,777778 & -2 & 1,4 \\ 0,555556 & 0,714286 & -2 \end{pmatrix}$$

Поиск собственного вектора можно осуществить с помощью надстройки «Поиск решений» электронных таблиц *Microsoft Excel*.

Рассчитан вектор весов по критерию «Лояльность»:

$$w_1 = 0{,}428390531,$$
$$w_2 = 0{,}333420796,$$
$$w_3 = 0{,}238188672.$$

Аналогичным образом, рассчитаны рейтинги по критериям «Количество транзакций» и «Количество скачиваний» и проведено их сравнение.

Рассчитан вектор весов при сравнении критериев между собой:

$$w_1 = 0{,}998362086,$$
$$w_2 = 0{,}001636914,$$
$$w_3 = 0.$$

Таким образом, критерий «Лояльность» получил наивысшую оценку - 0,998362086. Далее необходимо узнать, какой из банков по каждому из критериев получил наивысшую оценку. Рассчитаем взвешенный рейтинг каждого из банков. Для получения взвешенного рейтинга каждого банка оценка по любому из критериев умножается на вес этого критерия, и затем «взвешенные» оценки по разным критериям складываются между собой. Полученная оценка и является наилучшим решением.

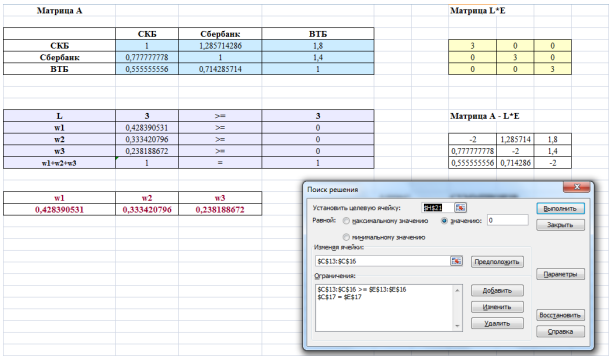


Рисунок 5 – Вычисление нормированных рейтингов
Figure 5 – Calculation of normalized ratings

Таблица 9 – Взвешенный рейтинг
Table 9 – Weighted rating

	Все критерии	СКБ-банк	Сбербанк	ВТБ-банк
Лояльность	0,99836	0,428390531	0,333420796	0,238188672
Кол-во транзакций	0,00164	0,045001169	0,719999258	0,234999573
Кол-во скачиваний	0,00000	0,122999881	0,136999860	0,739999260
	Взвешенный рейтинг	**0,427762528**	**0,334053258**	**0,238183214**

Таблица 10 – Переменные эффективности проекта разработки модуля транзакций
Table 10 – Variables of the project efficiency of the development of the transaction module

Название	Оценка
Количество скачиваний (Number of downloads)	0,4
Лояльность клиентов (Customer loyalty)	0,9
Количествотранзакций (The number and proportion of transactions in the application)	0,05

Таблица 11 – Переменные для оценки эффективности мобильного приложения
Table 11 – Variables for evaluating the effectiveness of a mobile application

Название	Оценка
Процент целевой аудитории, имеющих мобильные устройства (Percentage of target audience having mobile devices)	0,9
Процент пользователей, которые заходят в приложение с мобильных устройств (Percentage of users who access the app from mobile devices)	0,85
Процент отказов с мобильных устройств (Mobile bounce rate)	0,3
Процент пользователей, которые находились в приложении меньше 15 секунд (Percentage of users who were in the application for less than 15 seconds)	0,12
Процент повторных посещений (Return Rate)	0,88

Таблица 12 – Рассчитанные значения по переменным эффективности проекта
Table 12 – Calculated values from project performance variables

Название	Эксп. оценка	Рассч. оценка
Количество скачиваний (Number of downloads)	0,4	0,39
Лояльность клиентов (Customer loyalty)	0,9	0,3
Количествотранзакций (The number and proportion of transactions in the application)	0,05	0,3

Проведенные расчеты показывают, что наибольшая эффективность приложения у ПАО «СКБ-банк», средневзвешенный рейтинг равен 0,43, что больше чем у мобильного приложения ПАО «Сбербанк» и «ВТБ-банк».

Байесовская сеть доверия (БСД)

Это удобное графическое представление многомерных статистических распределений. Используется тогда, когда присутствует наследованная неопределенность. Основу методики составляет причинно-следственные связи, благодаря которым можно оценивать вероятность исследуемого события. Это дискретно-вероятностный метод. Методика применяется, когда существует: неполное понимание предметной области; неполные знания; задача, характеризующаяся случайностью.

Областями для использования байесовских сетей считаются экспертные системы. В современной ИТ-сфере разработаны две наиболее крупные экспертные системы, которые основаны на методике байесовских сетей: *MSBN* фирмы *Microsoft* и *Hugin* одноименной фирмы.

Аналогично предыдущей постановке задачи проведем оценку эффективности разработки мобильного приложения, которое будет зависеть от нескольких факторов-рисков (табл. 2), а также определим переменные, которые могут влиять на эффективность проекта разработки мобильного приложения.

Построение байесовской сети будем проводить в программе *Netica*. Определим переменные для построения байесовской сети – это будут переменные из таблицы 2 и переменные эффективности проекта, описанные выше (табл. 10). Далее определим переменные для оценки эффективности мобильного приложения (табл. 11).

Далее создадим новую сеть, загрузим названия узлов из файла *Microsoft Excel* и проведем дискретизацию узлов переменной *Analyst Assessment* (экспертная оценка). Построено дерево, где целевой узел *Application efficiency* является корнем и родителем всех остальных узлов. Проведем автоматическое обучение. Рассмотрим, как ведет себя сеть при выборе различных факторов (рис. 6–9).

Нас интересует, какие факторы будут наиболее значимыми при разработке мобильного приложения. Рассчитанные значения по переменным эффективности проекта при разработке модуля транзакций сведем в таблицу 12. Рассчитаем оценки эффективности мобильного приложения (табл. 13). Рассчитаем оценки рисков разработки модуля «Проведение транзакций» мобильного приложения «СКБ-банк» (табл. 14).

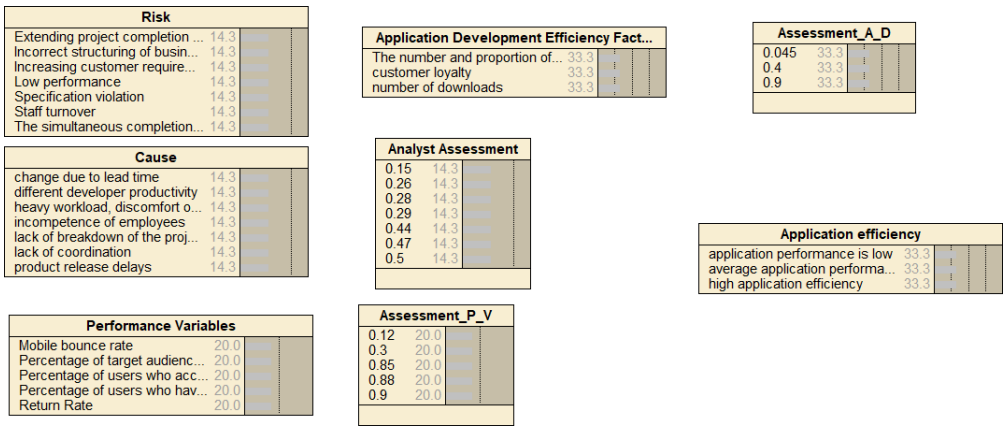


Рисунок 6 – Загрузка узлов
Figure 6 – Loading nodes

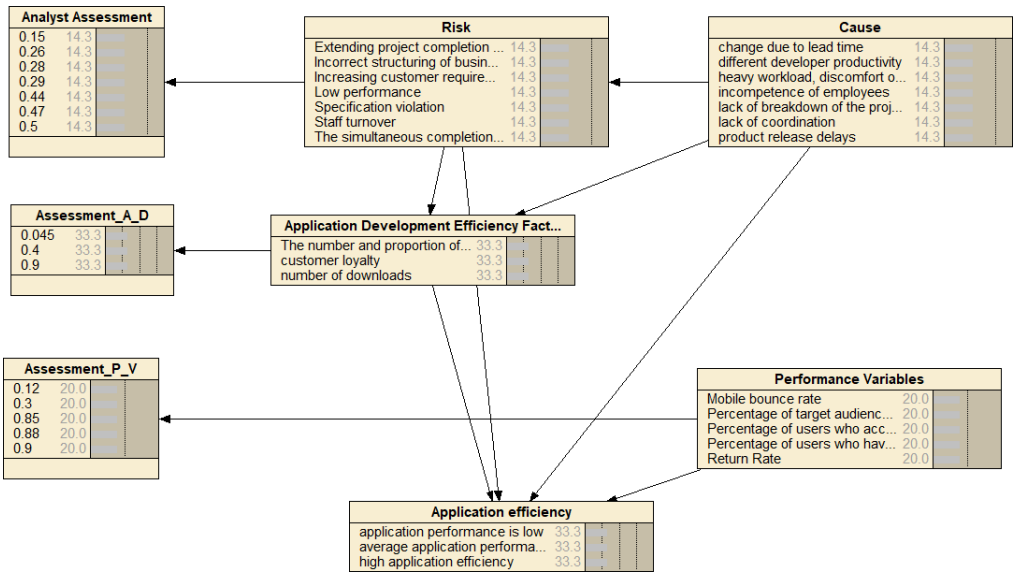


Рисунок 7 – Обучение структуры сети с помощью алгоритма *TAN*
Figure 7 – Training the network structure using the TAN algorithm

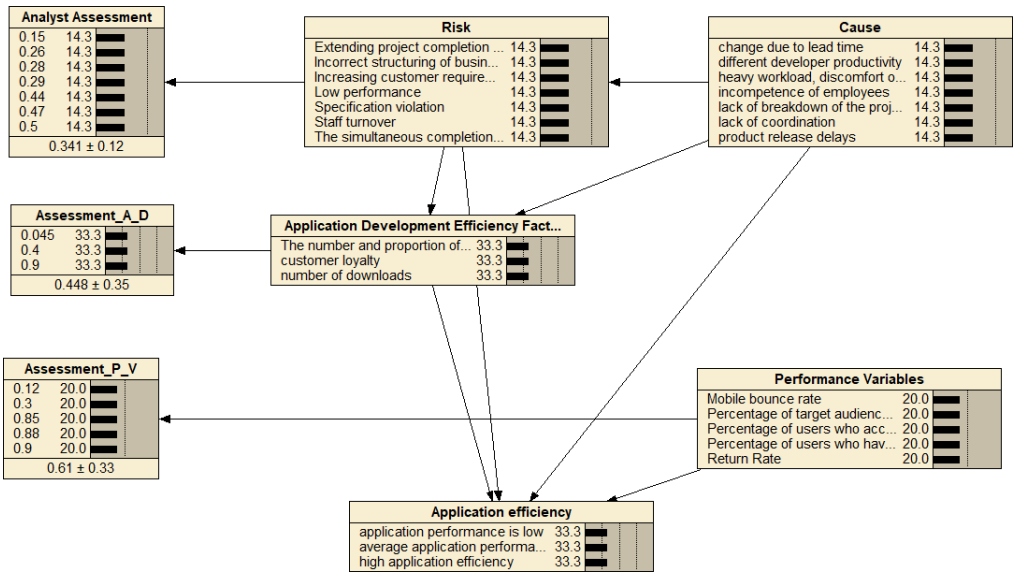


Рисунок 8 – Сеть, обученная *EM*-алгоритмом
Figure 8 – EM-trained network

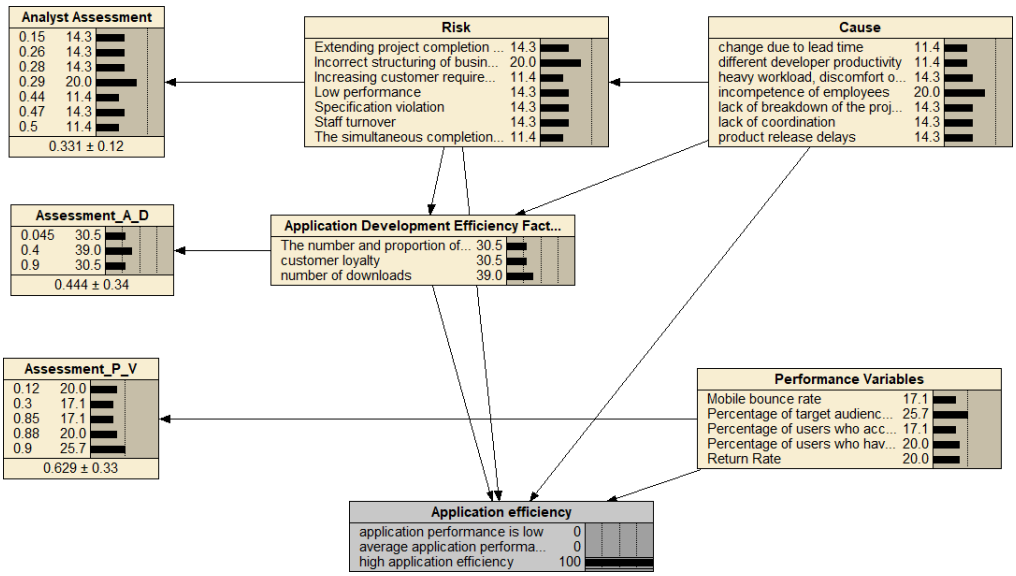


Рисунок 9 – Построение взаимосвязей между факторами
Figure 9 – Building relationships between factors

Таблица 13 – Переменные для оценки эффективности мобильного приложения
Table 13 – Variables for evaluating the effectiveness of a mobile application

Название	Эксп. оценка	Рассч. оценка
Процент целевой аудитории, имеющих мобильные устройства (Percentage of target audience having mobile devices)	0,9	0,257
Процент пользователей, которые заходят в приложение с мобильных устройств (Percentage of users who access the app from mobile devices)	0,85	0,2
Процент отказов с мобильных устройств (Mobile bounce rate)	0,3	0,171
Процент пользователей, которые находились в приложении меньше 15 секунд (Percentage of users who were in the application for less than 15 seconds)	0,12	0,2
Процент повторных посещений (Return Rate)	0,88	0,2

Таблица 14 – Рассчитанные оценки по рискам
Table 14 – Calculated project risk scores

Риск	Аналит. оценка	Рассч. оценка
Неверная структурированность бизнес-процессов дизайнером (Correct structuring of business processes by a designer)	0,29	0,20
Неодновременное завершение задач разработчиками разных платформ (Simultaneous completion of tasks by developers of different platforms)	0,5	0,114
Увеличение требований со стороны заказчика в ходе реализации проекта (Increasing customer requirements during project implementation)	0,44	0,114
Текучесть кадров (Staffturnover)	0,28	0,143
Нарушение спецификаций (Specification violation)	0,15	0,143
Низкая производительность (Low performance)	0,47	0,143
Увеличение времени сдачи проекта (Extending project completion time)	0,26	0,143

Таким образом, чтобы эффективность разработанного приложения была высокая, необходимо, чтобы риски проекта были значительно ниже: критерий риска «Увеличение требований со стороны заказчика в ходе реализации проекта» составлял 0,44, должен составлять 0,114. Также критерий риска «Неодновременное завершение задач разработчиками разных платформ» должен быть значительно ниже – 0,114 (этот критерий был оценен экспертами 0,5), критерий «Низкая производительность» должен составлять 0,143 (этот критерий был оценен экспертами 0,47), критерий «Нарушение спецификаций» может быть с таким же показателем. Критерий «Процент отказов с мобильных устройств» должен состав-

лять 0,171 (был оценен 0,3). Количество транзакций должно быть гораздо выше 0,3 (0,05).

На основе проведенного анализа с помощью методики нечетких множеств получено, что уровень всех рисков достаточно высокий. Методика байесовских сетей позволила определить риски, показатели которых нужно снизить. Если рассматривать приложение СКБ-банка по отношению к его конкурентам, то следует сказать, что самый низкий показатель по совершению транзакций осуществляется через приложения СКБ-банка. Вместе с тем, показатель лояльности клиентов достаточно высокий у пользователей приложения СКБ-банка.

Таким образом, в результате анализа с применением методик: Саати, нечетких множеств и построения байесовских сетей получена комплексная оценка эффективности разработки мобильного приложения «СКБ-банк» с дополнительным модулем внедрения «Проведение транзакций по карте».

Комплекс методик, которые заложены в модель поддержки принятия решений, позволит помочь в поиске сложных решений в условиях неопределенности при неточной или размытой информации. Также комплекс методик может быть использован для оценки эффективности при разработке мобильных приложений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Волкова Е.С., Гисин В.Б. (2019). Нечеткие множества и мягкие вычисления в экономике и финансах. М.: Литрес.

2. Конышева Л.К., Назаров Д.М. (2011). Основы теории нечетких множеств. М.: Питер.

3. Молодецкая С.Ф. (2012). Теория нечетких множеств как инструмент стратегического планирования ресурсов // Управленец. № 1. С. 58–69.

4. Назаров Д.М., Конышева Л.К. (2019). Интеллектуальные системы: Основы теории нечетких множеств. М.: Юрайт.

5. Пегат А. (2013). Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний.

6. Райли Д. (2006). Экспертные системы: принципы разработки и программирование. М.: Вильямс.

7. Рассел С., Норвиг П. (2015). Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс.

8. Станкевич Л.А. (2016). Интеллектуальные системы и технологии. М.: Юрайт.

9. Ухоботов В.И. (2011). Избранные главы теории нечетких множеств. Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета.

10. Хайкин С. (2015). Нейронные сети. М.: Вильямс.

11. Ясницкий Л.Н. (2016). Интеллектуальные системы. М.: Бином. Лаборатория знаний.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Молодецкая Светлана Федоровна – Уральский институт управления, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (660020, Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 66); molodezkayasf@mail.ru.

DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT METHODS UNDER UNCERTAINTY

S.F. Molodetskaya[2a]

[a]Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration

ABSTRACT:

The article analyzes economic and mathematical models and methods of decision support under uncertainty. National and foreign experience of economic situations related to the dissemination of knowledge

[2]RSCI AuthorID: 704035

has been studied, and the main aspects of the knowledge economy have been identified. Methods of knowledge representation are considered, in particular, the rules for building a production model of knowledge are defined. The analysis of intelligent systems based on learning and self-learning (with a "teacher", without a "teacher") is carried out and it is concluded that to assess economic processes, it is necessary to consider a set of techniques related to poorly formalized tasks, which include economic tasks.

The methodological base of the research includes the fuzzy control method, the Saati method, and the Bayesian Belief Network method, which are the basis of the developed economic and mathematical model. **The theoretical and practical significance** of the study is to justify the need to develop a comprehensive assessment of the efficiency of a mobile application.

JSC "SKB-Bank" was selected as the **research object**, the **subject** of this study is to develop an additional module "Conducting financial card transactions of JSC 'SKB-Bank' " mobile app.

The effectiveness of the development was evaluated, in particular during the development of the module "Conducting financial card transactions of JSC 'SKB-Bank' " of the mobile application. To do this, we defined metrics that served as criteria for determining the effectiveness of the project, as well as project risks that were estimated based on the theory of fuzzy sets. The developed methods of decision support under uncertainty allowed us to draw a conclusion about the efficiency of the project as a whole. The developed model can be used to evaluate the efficiency of mobile applications for any company.

KEYWORDS: neural networks, Bayesian Belief Network, Saati method, probabilistic method, intelligent systems, expert systems, economic and mathematical models, DataMining, Netica system, optimal choice.

FOR CITATION: Molodetskaya S.F. (2020). Development of decision support methods under uncertainty, *Management Issues*, no. 4, pp. 102–114.

REFERENCES

1. Volkova E.S., Gisin V.B. (2019). *Fuzzy sets and soft computing in economics and finance*. Moscow: Litres.

2. Konysheva L.K., Nazarov D.M. (2011). *Foundations of the theory of fuzzy sets*. Moscow: Piter.

3. Molodetskaya S.F. (2012). The theory of fuzzy sets as a tool for strategic resource planning, *The Manager*, no. 1, pp. 58–69.

4. Nazarov D.M., Konysheva L.K. (2019). *Intelligent systems: Foundations of the theory of fuzzy sets*. Moscow: Yurayt.

5. Pegat A. (2013). *Fuzzy modeling and control*. Moscow: Binom. Laboratoriya Znaniy.

6. Riley D. (2006). *Expert systems: design principles and programming*. Moscow: Williams.

7. Russell S., Norvig P. (2015). *Artificial Intelligence. Modern approach*. Moscow: Williams.

8. Stankevich L.A. (2016). *Intelligent systems and technologies*. Moscow: Yurayt.

9. Ukhobotov V.I. (2011). *Selected chapters of the theory of fuzzy sets*. Chelyabinsk: Publishing House of the Chelyabinsk State University.

10. Khaikin S. (2015). *Neural networks*. Moscow: Williams.

11. Yasnitsky L.N. (2016). *Intelligent systems*. Moscow: Binom. Laboratoriya Znaniy.

AUTHORS' INFORMATION:

Svetlana F. Molodetskaya – Ural Institute of Management, Russian Academy of National Economy and Public Administration (66, 8 Marta St., Ekaterinburg, 660020, Russia); molodezkayasf@mail.ru.