

**VII Всероссийская Поспеловская
конференция**

**«ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»**

ГИСИС'2024

Калининград, 3–7 июня 2024 г.

Под редакцией д-ра техн. наук, проф.
А. В. Колесникова

Калининград
2024

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

д-р техн. наук проф. *Колесников А.В.* (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Заместители председателя:

д-р техн. наук проф. *Фоминых И.Б.* (Россия, Москва, НИУ «МЭИ»);

д-р техн. наук проф. *Еремеев А.П.* (Россия, Москва, НИУ «МЭИ»)

Члены:

д-р техн. наук проф. *Алиев Р.А.* (Азербайджан, Баку, АЗГНА);

д-р техн. наук проф. *Арефьев И.Б.* (Польша, Щецин, Морская Академия);

д-р физ.-мат. наук проф. *Батыршин И.З.* (Мексика, Мехико, IPN);
канд. техн. наук доц. *Гаврилов А.В.* (Россия, Новосибирск, НГТУ);

д-р техн. наук проф. *Голенков В.В.* (Беларусь, Минск, БГУИР);

д-р техн. наук в.н.с. *Городецкий В.И.* (Россия, Санкт-Петербург, АО «ЭВРИКА»);

д-р мед. наук, проф., *Кобринский Б.А.* (Россия, Москва, ФИЦ ИУ РАН);

д-р техн. наук проф. *Ковалев С.М.* (Россия, Ростов-на-Дону, РГУПС);

д-р техн. наук проф. *Курейчик В.М.* (Россия, Таганрог, ТТИ ЮФУ);

д-р физ.-мат. наук доц. *Павлов А.В.* (Россия, Санкт-Петербург, НИУ ИТМО);

д-р техн. наук проф. *Рыбина Г.В.* (Россия, Москва, НИЯУ МИФИ);

д-р техн. наук доц. *Сараев П.В.* (Россия, Липецк, ЛГТУ);

д-р техн. наук проф. *Ярушкина Н.Г.* (Россия, Ульяновск, УлГТУ)

УДК 004.8
ББК 16.6:32.813
С28

Рецензенты:

д. т. н., проф. *Корягин Сергей Иванович* (БФУ им. И. Канта);
д. ф.-м. н., проф. *Юров Артём Валерианович* (БФУ им. И. Канта)

Ответственный редактор:

д. т. н., проф. *Колесников Александр Васильевич*

С28 **VII Всероссийская Поспеловская конференция «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы»:** сборник статей по материалам научной конференции (Калининград, 3–7 июня 2024 года) [Электронный ресурс] : научное электронное издание / отв. ред. А. В. Колесников. — Калининград, Санкт-Петербург : Издательство РХГА, 2024. — <https://irhga.ru/publications/GISIS-2024/>

ISBN 978-5-907855-25-0

Публикуются доклады, представленные на VII Всероссийской Поспеловской конференции «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГИСИС-2024), проведённой Балтийским федеральным университетом им. И. Канта при поддержке Российской ассоциации искусственного интеллекта и Российской ассоциации нечётких систем и мягких вычислений в Зеленоградске Калининградской области 3 – 7 июня 2024 г.

Издание предназначено для научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов.

УДК 004.8
ББК 16.6:32.813

ISBN 978-5-907855-25-0

© БФУ им. И. Канта, 2024
© Авторы статей, 2024

НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ, ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ АКТИВНОСТЕЙ С УЧЕТОМ РИСКОВ

Г. С. Завалин¹, О. В. Недолужко², К. С. Солодухин³

*^{1,2,3}Владивостокский государственный университет,
Владивосток, Россия*

*e-mail: ¹georgiy.zavalin08@vvsu.ru, ²olga.nedoluzhko25@gmail.com,
³k.solodukhin@mail.ru*

Введение

Существует значительное количество моделей оценки величины интеллектуального капитала и ее прироста в результате тех или иных управленческих воздействий. Среди них следует особо выделить нечеткие модели, что связано с экономической природой интеллектуального капитала, который, с одной стороны, сам является имплицитным фактором управленческой деятельности, при этом, с другой стороны, среди факторов самого интеллектуального капитала преобладающими являются имплицитные факторы, количественная оценка влияния которых затруднена. Значительным преимуществом использования нечетких моделей является также возможность формализации различного рода неопределенностей и количественной оценки рисков.

В то же время за рамками существующих моделей остаются различные сценарии взаимодействия элементов интеллектуального капитала, определяющие специфику его формирования и развития в различных условиях, траектории развития и смену эволюционных состояний. Отсутствуют модели управления противоречиями между компонентами интеллектуального капитала. В структуре интеллектуального капитала не выделяются возможные типы когнитивной активности, развитие которых и обеспечивает в конечном итоге рост интеллектуального капитала.

Целью работы является разработка комплекса новых взаимосвязанных нечетких моделей, позволяющих учесть при оценке, форми-

ровании и развитии интеллектуального капитала организации (ИКО) влияние способностей к различным видам когнитивных активностей на основные структурные компоненты ИКО, прямое и опосредованное влияние эксплицитных и имплицитных факторов, количественные оценки рисков.

1. Нечеткая модель формирования каузального поля показателей ИКО

Развитие теории ИКО за счет введения в нее понятия имплицитности позволяет обеспечить интерпретацию бизнес-процессов экономических систем на принципиально новом уровне обобщения. В рамках теории ИКО сам является имплицитным фактором, процесс формирования которого в значительной степени определяется воздействием на него множества других имплицитных факторов [1]. Соответственно, представляется целесообразным выделить, кроме явно воздействующих на развитие ИКО факторов (эксплицитных), факторы скрытого, опосредованного влияния (имплицитные). В совокупности выделенные группы ключевых показателей развития ИКО, эксплицитных и имплицитных факторов составляют каузальное поле показателей развития ИКО.

Формирование каузального поля предлагается осуществлять в рамках модифицированной сбалансированной системы показателей. При этом предлагается сгруппировать стратегические цели организации, имеющие существенное отношение к развитию ее ИКО, по трем группам, соответствующим основным структурным компонентам ИКО (человеческий капитал, организационный капитал, отношенческий капитал). Интегральные показатели, соответствующие основным структурным компонентам ИКО, могут быть рассмотрены как ключевые показатели ИКО. С каждым структурным компонентом ИКО могут быть соотнесены два типа когнитивной активности: обучение и самосовершенствование способствуют развитию человеческого капитала, вовлечение и производственная рационализация развивают организационный капитал, инновационная деятельность и клиентоориентированная рационализация обеспечивают прирост отношенческого капитала. Таким образом, предварительный отбор показателей, претендующих на включение в группы «эксплицитные факторы ИКО» и «имплицитные факторы ИКО», происходит среди показателей стратегических целей из шести групп [2].

Пусть $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ — множество ключевых показателей ИКО, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_t\}$ — множество показателей стратегических целей, влияющих на развитие ИКО, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ — множество эксплицитных факторов ИКО, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — множество имплицитных факторов ИКО, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_s\}$ — множество факторов, влиянием которых на развитие ИКО можно пренебречь.

Таким образом, $E = B \cup A \cup D$, причем $t = m + n + s$, т. е. множества B , A и D попарно не пересекаются.

Степени влияния показателей множества E на показатели множества C определяются экспертно в заданной лингвистической шкале. При этом находится средневзвешенное значение экспертных оценок. Каждому эксперту присваивается нечеткий коэффициент, отражающий его уровень компетентности.

В результате имеем матрицу M_{EC} размерности $t \times k$, элементами которой являются нечеткие числа.

Поставим в соответствие матрице M_{EC} вектор-столбец M_{EC}^* длины t следующим образом:

$$(M_{EC}^*)_i = \sum_{j=1}^k w_j (M_{EC})_{ij}, \quad (1)$$

где w_j — весовые коэффициенты ключевых показателей ИКО. Элементы вектор-столбца M_{EC}^* определяют влияние показателей множества E на ИКО.

Тогда эксплицитными факторами ИКО будем считать такие показатели e_i , для которых $(M_{EC}^*)_i$ превосходят экзогенно заданную «границу отсечения». Если «граница отсечения» задана четко, то нечеткие элементы вектор-столбца M_{EC}^* могут быть дефаззифицированы, после чего полученные четкие числа можно сравнивать с четкой «границей отсечения». Поскольку при использовании различных методов дефаззификации будут получаться различные результаты, то наборы эксплицитных и имплицитных факторов в свою очередь могут различаться. Если «граница отсечения» задана нечетко, необходимо воспользоваться одним из существующих методов сравнения нечетких множеств [3]. При использовании различных правил также могут получаться разные наборы эксплицитных и имплицитных факторов.

Обозначим через $F = \{f_1, f_2, \dots, f_{n+s}\}$ множество показателей стратегических целей, не являющихся эксплицитными факторами. То есть $F = E \setminus B = A \cup D$.

Определим экспертно в заданной лингвистической шкале степени влияния показателей множества F на показатели множества B . В результате имеем нечеткую матрицу M_{FB} размерности $(t-m) \times m$.

Рассмотрим матрицу M_{BC} размерности $m \times k$, полученную из матрицы M_{EC} удалением строк, соответствующих показателям множества F . Элементы матрицы M_{BC} отражают степени влияния эксплицитных факторов на ключевые показатели развития ИКО.

Обозначим через M'_{FC} матрицу:

$$(M'_{FC})_{ij} = \sum_k (M_{FB})_{ik} * (M_{BC})_{kj}. \quad (2)$$

Нормируем при необходимости элементы матрицы M'_{FC} таким образом, чтобы универсальное множество получившихся нечетких чисел совпадало с исходным. Полученную матрицу обозначим M_{FC} .

Элементы матрицы M_{FC} отражают степени влияния показателей множества F на ключевые показатели развития ИКО.

Поставим в соответствие матрице M_{FC} вектор-столбец M^*_{FC} длины t :

$$(M^*_{FC})_i = \sum_{j=1}^k w_j (M_{FC})_{ij}. \quad (3)$$

Элементы вектор-столбца M^*_{FC} определяют влияние показателей множества F на ИКО.

Имплицитными факторами ИКО будем считать показатели f_i , для которых $(M^*_{FC})_i$ превосходят экзогенно заданную «границу отсеечения».

2. Нечеткая модель количественной оценки ИКО

На первом этапе формируется каузальное поле показателей развития ИКО, которое может быть представлено в виде следующей иерархической структуры. Корневой вершиной (нулевой уровень иерархии) является интегральный показатель ИКО (I). На следующем (первом) уровне находятся ключевые показатели ИКО — интегральные показатели, соответствующие основным структурным компонентам ИКО: человеческому капиталу (I_H), организационному капиталу (I_O), отношенческому капиталу (I_R). На втором уровне находятся интегральные показатели, соответствующие типам когнитивной активности: обучению (I_{H1}), самосовершенствованию (I_{H2}), вовлече-

нию (I_{O1}), производственной рационализации (I_{O2}), клиентоориентированной рационализации (I_{R1}), инновационной деятельности (I_{R2}).

Эксплицитные и имплицитные факторы ИКО, сгруппированные в соответствии с типами когнитивной активности, образуют самый нижний уровень иерархии. При этом могут быть выделены подгруппы факторов ИКО, соответствующие определенным аспектам в рамках отдельных типов когнитивной активности: научно-исследовательскому (I_{H21}), социально-психологическому (I_{H22}), цифровому (I_{O21} и I_{R12}), инфраструктурному (I_{H22}), квалификационному (I_{R22}), репутационному (I_{R13}), предпринимательскому (I_{R11}), а также аспекту взаимодействия с партнерами (I_{O23} и I_{R21}).

В иерархии могут возникать циклы в связи с тем, что некоторые показатели ИКО нижнего уровня являются факторами развития различных когнитивных активностей. Если указать такие показатели в иерархии несколько раз с присвоением им различных индексов, то можно считать, что построенная иерархическая структура является деревом. В этом случае существенно облегчается процесс оценки показателей различных уровней иерархии.

Рассматривая в дальнейшем показатели ИКО нижнего уровня, мы не будем делать различий между эксплицитными и имплицитными факторами. Подобное деление важно на этапе выявления факторов развития ИКО. На этапе оценки ИКО существенно большую роль играет способ измерения значений показателей (выбор шкалы).

Часть показателей ИКО нижнего уровня оценивается в количественных шкалах (будем называть такие показатели «количественными»), другая часть — в качественных (будем называть такие показатели «качественными»).

«Качественные» показатели ИКО (q_i) оцениваются экспертно в заданной лингвистической шкале. Ответы экспертов усредняются с учетом весов, присваиваемых экспертам.

Фаззификация «количественных» показателей ИКО (r_j) требует индивидуального задания функций принадлежности для значений лингвистических шкал для каждого отдельного «количественного» показателя. При этом будут отличаться носители нечетких множеств для разных показателей.

Имея нечеткие оценки всех показателей ИКО нижнего уровня, мы можем двигаться вверх по иерархии, используя алгоритмы нечеткого логического вывода (например, алгоритм Мамдани [4]).

Использование таких алгоритмов требует построения баз нечетких продукционных правил. В качестве подусловий в правилах нечетких продукций выступают нечеткие высказывания о значениях показателей ИК текущего уровня иерархии. Подзаключениями являются нечеткие высказывания о значениях показателей ИК вышележащего уровня иерархии, являющихся узлами-родителями для показателей, фигурирующих в подусловиях.

Алгоритмы нечеткого логического вывода по четким значениям входных переменных позволяют определить нечеткое значение выходной переменной, которое при необходимости может быть дефазифицировано.

На самом нижнем уровне иерархии входными переменными являются значения «количественных» и «качественных» показателей ИКО. Четкие значения «количественных» показателей имеются изначально. Для «качественных» показателей могут быть рассчитаны их нечеткие значения, дефазифицируя которые можно получить четкие величины.

При движении по иерархии снизу вверх мы для всех узлов будем получать нечеткие и, после дефазификации, четкие значения, по которым, с использованием соответствующих баз продукционных правил, определяются нечеткие (и четкие) значения вышележащих узлов иерархии вплоть до корневой вершины.

Существует также более простой способ расчета нечетких значений всех узлов иерархии. В его рамках при движении вверх от предпоследнего (если считать сверху вниз) уровня иерархии используется упрощенный алгоритм, при котором не требуются построение баз правил и дефазификация нечетких значений узлов. При этом нечеткие значения вышележащих узлов получаются из нечетких значений узлов потомков с помощью заданной нечетко-множественной операции (чаще всего дизъюнкции).

Имея нечеткие значения показателей, мы можем вычислить индекс нечеткости каждого показателя. Индекс нечеткости позволяет установить границы приближенных оценок (чем больше индекс нечеткости, тем менее точной будет оценка) [5]. Существуют различные неметрические и метрические индексы нечеткости, удовлетворяющие определенной системе аксиом [6].

Для оценки (интерпретации) уровней показателей ИКО может быть использован подход, в рамках которого носитель разбивается

на некоторое количество интервалов, для которых рассчитываются коэффициенты соответствия каждого показателя (как нечеткого множества) этим интервалам. Коэффициенты соответствия рассчитываются как относительные площади фигур, ограниченных кривой функции принадлежности сверху и заданным альфа-уровнем снизу. В этом случае интерпретация уровня показателя (в лингвистической шкале) происходит не по максимальному коэффициенту соответствия, а ориентируясь на все распределение коэффициентов соответствия.

Преимущества предложенной модели определяются возможностью выбора произвольных функций принадлежности нечетких переменных модели, различных систем нечеткого логического вывода и методов дефаззификации с учетом требований лица, принимающего решения.

3. Нечеткие модели оптимизации портфеля проектов развития ИКО с учетом рисков

Пусть у организации имеется N проектов P_1, P_2, \dots, P_N по развитию ИКО, влияющих на K показателей развития ИКО нижнего уровня e_1, e_2, \dots, e_K .

Будем рассматривать L сценариев возможных изменений внутренней и внешней среды S_1, S_2, \dots, S_L с нечеткими вероятностями P_1, P_2, \dots, P_L .

Предполагается, что реализация каждого проекта приводит к изменениям показателей развития ИКО нижнего уровня и, через них, всех показателей ИКО в иерархии. Эти изменения будут различны в рамках разных сценариев. Изменения показателей ИКО нижнего уровня определяются экспертно с последующим усреднением по отдельным сценариям.

На основе нечетких изменений показателей e_1, e_2, \dots, e_K могут быть рассчитаны нечеткие изменения всех показателей ИКО в иерархии, включая интегральный показатель ИКО (I).

Таким образом, каждый из проектов P_n ($n = \overline{1, N}$) характеризуется следующими показателями:

- нечеткие изменения $A_n^l = (a_{n1}^l, a_{n2}^l, \dots, a_{nK}^l)$ показателей e_1, e_2, \dots, e_K при реализации проекта в рамках сценария S_l ($l = \overline{1, L}$);
- изменение I_n^l показателя I при реализации проекта в рамках S_l ;
- нечеткий объем необходимых финансовых ресурсов B_n .

Изменения $A_n^l = (a_{n1}^l, a_{n2}^l, \dots, a_{nk}^l)$ и I_n^l будем рассматривать как случайные величины, зависящие от ряда факторов, являющихся функциями времени.

Определим бинарную переменную y_n следующим образом:

- $y_n = 0$, если проект n не включается в портфель по повышению ИКО;
- $y_n = 1$, если проект n включается в портфель по повышению ИКО.

Предлагается следующая схема построения оптимального портфеля проектов по повышению ИКО:

1. Для каждого проекта n нечетко определяем объем необходимых для его реализации финансовых ресурсов B_n .

2. Определяем набор сценариев S_1, S_2, \dots, S_L и нечетко оцениваем вероятность каждого из них p_1, p_2, \dots, p_L .

3. Для каждого сценария l по каждому проекту n определяем нечеткие изменения $A_n^l = (a_{n1}^l, a_{n2}^l, \dots, a_{nk}^l)$ показателей e_1, e_2, \dots, e_K и рассчитываем I_n^l .

4. Рассчитываем нечеткую удельную полезность каждого проекта n в рамках сценария l по формуле:

$$\tilde{I}_n^l = \frac{\tilde{I}_n^l}{B_n}. \quad (3)$$

5. Находим нечеткое мат. ожидание удельной полезности проекта n в рамках сценария l :

$$m_n = E(\tilde{I}_n^l) = \sum_{l=1}^L \tilde{I}_n^l p_l \quad (4)$$

и элементы ковариационной матрицы удельных полезностей проектов i и j :

$$v_{ij} = \sum_{l=1}^L (\tilde{I}_i^l - m_i)(\tilde{I}_j^l - m_j) p_l. \quad (5)$$

6. Нечетко задаем верхнюю границу по финансовым ресурсам B_0 .

$$\begin{aligned} 7. \text{ Полезность портфеля } m_{port} &= \sum_{i=1}^N y_i m_i, \text{ риск портфеля } \sigma_{port}^2 = \\ &= \sum_{i,j=1}^N y_i y_j v_{ij}. \end{aligned}$$

Модель первая. Портфель проектов по повышению ИКО формируется по критерию максимума ожидаемой удельной полезности при ограничениях на величину риска программы и объем финансовых ресурсов, необходимых для реализации портфеля:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N y_i m_i \rightarrow \max, \\ \sum_{i,j=1}^N y_i y_j v_{ij} \leq \sigma_0^2, \\ \sum_{i=1}^N y_i B_i \leq B_0. \end{cases} \quad (6)$$

Модель вторая. Портфель проектов по повышению ИКО формируется по критерию минимума риска портфеля при ограничениях на объем необходимых ресурсов и величину ожидаемой удельной полезности:

$$\begin{cases} \sum_{i,j=1}^N y_i y_j v_{ij} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N y_i m_i \geq m_0, \\ \sum_{i=1}^N y_i B_i \leq B_0. \end{cases} \quad (7)$$

Данные задачи с помощью стандартных приемов сводятся к задачам четкого булева квадратичного программирования [7].

Заключение

Разработан комплекс взаимосвязанных нечетких моделей управления интеллектуальным капиталом организации, позволяющих учесть при оценке, формировании и развитии интеллектуального капитала влияние способностей к различным видам когнитивных активностей на основные структурные компоненты интеллектуального капитала, прямое и опосредованное влияние эксплицитных и имплицитных факторов, количественные оценки рисков.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01091 (<https://rscf.ru/project/23-28-01091/>)

Список литературы

1. Назаров Д. М. Модель оценки имплицитных факторов на основе нечетко-множественных описаний // Известия ДВФУ. Экономика и управление. 2016. № 4 (80). С. 3–17.
 2. Завалин Г. С., Недолужко О. В., Солодухин К. С. Формирование каузального поля показателей развития интеллектуального капитала организации: концепция и нечеткая экономико-математическая модель // Бизнес-информатика. 2023. Т. 17, № 3. С. 53–69.
 3. Chen S., Hwang C. Fuzzy multiple attribute decision making: Methods and applications. New York: Springer-Verlag, 1992.
 4. Mamdani E. H. Application of Fuzzy Algorithm for Control of Simple Dynamic Plant // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. 1974. Vol. 121, No. 12. P. 1585–1588.
 5. Минаев Ю. Н., Филимонова О. Ю., Минаева Ю. И. Индекс нечеткости нечетких множеств в контексте концепции data mining // Проблемы информатизации и управления. 2012. Т. 3, № 39. С. 95–101.
 6. De Luca A., Termini S. A Definition of a Nonprobabilistic Entropy in the Setting of Fuzzy Sets Theory // Information and control. 1972. Vol. 20, No. 4. P. 301–312.
 7. Аньшин В. М., Демкин И. В., Царьков И. Н., Никонов И. М. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов // Проблемы анализа рисков. 2008. Т. 5, № 3. С. 8–21.
-

Ю. Е. Гапанюк, Ю. Т. Каганов, М. Г. Кузьмина. Метаграфовое описание синергетических холархий	351
Е. Н. Надеждин. Алгоритмы роевого интеллекта в задачах оптимизации группового управления БПЛА	361
В. В. Ничепорчук, Л. Ф. Ноженкова, Т. Г. Пенькова, А. И. Ноженков. Архитектура мультиагентной системы управления орбитальной группировкой.	371
Г. М. Новикова. Многоагентный подход к верификация теории предметной области в рамках полной семиотической системы . . .	380
А. Е. Ширкин, О. В. Толстель, А. Л. Калабин. Оценка 6D позиции объекта с выбором целевого объекта на изображении для робототехнических задач	391

Секция 4

НЕЧЁТКИЕ МОДЕЛИ, ОНТОЛОГИИ, МЯГКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Г. С. Завалин, О. В. Недолужко, К. С. Солодухин. Нечеткие модели оценки, формирования и развития интеллектуального капитала на основе когнитивных активностей с учетом рисков	401
Л. С. Мазелис, Г. В. Гренкин, К. И. Лавренюк, А. А. Красько. Нечеткий метод оценки влияния компетенций и выгорания сотрудников на достижение ими ключевых показателей эффективности	411