

**DIGITAL INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM
OF DEVELOPMENT MANAGEMENT (DIASDM) OF THE UNIVERSITY.
PART II. CRITERIA-INDICATIVE SYSTEM OF ANALYSIS
AND THE INFERENCE SYSTEM OF DIASDM**

S. V. Novikov

Ufa State Aviation Technical University (UGATU)

novikov.sv@ugatu.su

Submitted 2022, September 3

Abstract. As the control logic of the digital information-analytical system of development management of the university, a criterion-indicative system for analyzing the integral characteristics of objects and processes and the inference system associated with it are proposed. The analysis of the system of indicators is implemented on the basis of objective and subjective criteria-based diagnostics of the target indicators of the educational and innovative activities of the university. All indicators were decomposed into groups according to target characteristics and the subsequent synthesis of the integral indicator was performed. The set of states and actions is implemented on the basis of production rules. The inference systems represent the knowledge and experience accumulated during the functioning of the system, knowledge and experience in the functioning of similar systems and are the driver of the DIASDM. The criterion-indicative structure of the DIASDM allows to accumulate, and the inference system to translate advanced effective solutions into the university system.

Keywords: criteria-indicative analysis; inference system; decomposition of the system of indicators; synthesis of an integral indicators; transfer of efficient technologies.

**ЦИФРОВАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ (ЦИАСУР) УНИВЕРСИТЕТА.
ЧАСТЬ II. КРИТЕРИАЛЬНО-ИНДИКАТИВНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И СИСТЕМА
ПРОДУКЦИОННЫХ ПРАВИЛ ЦИАСУР**

С. В. Новиков

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

novikov.sv@ugatu.su

Поступила в редакцию 3.09.2022

Аннотация. В качестве управляющей логики цифровой информационно-аналитической системы управления развитием университета предложена критериально-индикативная система анализа интегральных характеристик объектов и процессов и связанная с ней система продукционных правил. Анализ системы показателей реализован на основе объективной и субъективной критериальной диагностики целевых показателей образовательной и инновационной деятельности университета. Выполнена декомпозиция всех показателей на группы по целевым признакам и последующий синтез интегрального показателя. Совокупность состояний и действий

реализована на основе продукционных правил. Продукционные правила представляют собой знания и опыт, накопленные в процессе функционирования системы, знания и опыт функционирования аналогичных систем и являются драйвером ЦИАСУР. Критериально-индикативная структура ЦИАСУР позволяет аккумулировать, а система продукционных правил транслировать передовые эффективные решения в университетскую среду.

Ключевые слова: критериально-индикативный анализ; система продукционных правил; декомпозиция системы показателей; синтез интегрального показателя; трансфер технологий.

СИСТЕМЫ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДИКАТОРОВ МОДЕЛИ

Важнейшей составляющей информационного обеспечения ЦИАСУР является система критериальных показателей объектов и процессов. В соответствии с целями моделирования систему ключевых показателей интеллектуальных агентов необходимо определить по тем же группам, что и в типологии, используемой при оценке деятельности университетов, применяемых в различных классификациях.

Критериальное множество оценки событий и процессов с использованием показателей систематизировано по следующим шести блокам:

1. Обучение и преподавание (C_1).
2. Студенты (C_2).
3. Исследования и разработки (ИиР) (C_3).
4. Региональное взаимодействие (C_4).
5. Вовлеченность в обмен знаниями (C_5).
6. Международная деятельность (C_6).

Конкретное наполнение приведенных шести групп определяется целями при анализе результативности. Например, при оценке рейтинга университетов содержание показателей ориентировано на различные формы оценки эффективности, при анализе инновационной деятельности акцент делается на новации в различных видах деятельности, а при анализе реализации различных программ показатели характеризуют конкретные направления развития.

Метод формирования достоверной, полной и непротиворечивой системы данных показателей включает этапы классификации в соответствии со схемой на рис. 1.

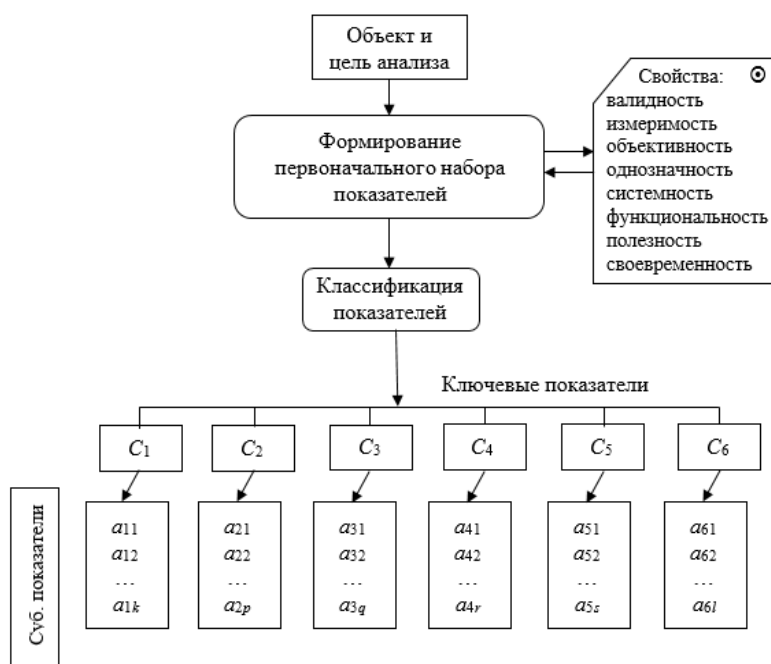


Рис. 1. Формирование системы критериальных показателей ЦИАСУР

Показатели меняют свои значения как результат событий и процессов опосредовано через изменения атрибутов.

Необходимой составляющей процесса формирования показателей является наличие у показателя необходимого для последующего применения перечня свойств, представленных в блоке свойств рис. 1. Это такие свойства как валидность, измеримость, объективность, однозначность, системность, функциональность, полезность, своевременность и др.

Ниже представлены примеры содержательного наполнения группы показателей, применяемые при оценке различных аспектов функционирования университета.

Первая группа показателей (C_1) актуализирует спектр, содержательный контент и эффективность образовательных программ, реализуемых в сотрудничестве с предприятиями-потребителями специалистов определенного профиля и подтверждающих конкурентоспособность профильной кафедры вуза на рынке образовательных услуг. Индикаторы группы «Обучение Преподавание» представлены в табл. 1.

Таблица 1. Индикаторы группы «Обучение Преподавание»

	Индикаторы
a_{11}	Число образовательных программ
a_{12}	Число программ бакалавриата
a_{13}	Число программ магистратуры
a_{14}	Число программ аспирантуры
a_{15}	Качество обучающихся в университете студентов
a_{16}	Средний балл первокурсников, поступивших по ЕГЭ
a_{17}	Численность ППС
a_{18}	Удельный вес обладателей ученых степеней ППС в общей численности ППС
a_{19}	Отношение численности занятых на полную ставку профессоров к численности студентов
$a_{1,10}$	Удельный вес профессоров в общей численности ППС
$a_{1,12}$	Уровень выпуска студентов (коэффициент сохранения студентов)
	Количество дипломов:
$a_{1,13}$	– бакалаврских;
$a_{1,14}$	– магистерских;
$a_{1,15}$	– аспирантских.
$a_{1,16}$	Удельное бюджетное финансирование
$a_{1,17}$	Затраты на академические сервисы
	Индексы:
$a_{1,18}$	– аудиторного фонда;
$a_{1,19}$	– кампуса;
$a_{1,20}$	– библиотек;
$a_{1,21}$	– лабораторий

Вторая группа показателей (C_2) актуализирует спрос на образовательные услуги, отраженный в численности обучающихся. Индикаторы группы «Студент» представлены в табл. 2.

Таблица 2. Индикаторы группы «Студент»

	Индикаторы
a_{21}	Численность студентов бакалавриата
a_{22}	Численность магистров и аспирантов
a_{23}	Численность студентов, обучающихся на бюджетных и платных местах
a_{24}	Качество обучающихся в университете студентов
a_{25}	Количество студентов, участвующих в НИОКР
	Уровень выпуска студентов:
a_{26}	– коэффициент сохранения студентов;
a_{27}	– коэффициент прогресса студентов

Третья группа показателей (C_3) актуализирует исследования и разработки. Индикаторы группы «Исследования и разработки (ИиР)» представлены в табл. 3.

Таблица 3. Индикаторы группы «Исследования и разработки»

	Индикаторы
a_{31}	Показатель исследовательской деятельности
a_{32}	Расходы на научные проекты
a_{33}	Доходы от научно-исследовательской деятельности университета
a_{34}	Сумма средств, полученных университетом на грантовой основе на исследования
a_{35}	Количество ученых степеней, выданных на программах послевузовской подготовки
a_{36}	Численность обладателей ученых степеней, защитившихся в данном университете
a_{37}	Рейтинг научной и публикационной активности
	Число:
a_{38}	– PhD диссертаций;
a_{39}	– статей в зарубежных рецензируемых журналах;
$a_{3,10}$	– статей в зарубежных нерецензируемых журналах;
$a_{3,11}$	– книг в (со) авторстве;
	и др.

Четвертая группа показателей (C_4) актуализирует вовлеченность университета в структуру регионального взаимодействия. Индикаторы группы «Региональное взаимодействие» представлены в табл. 4.

Таблица 4. Индикаторы группы «Региональное взаимодействие»

	Индикаторы
a_{41}	Доля университета в ВРП региона
a_{42}	Показатель региональных исследовательских программ
a_{43}	Доля выпускников в региональном трудоустройстве
a_{44}	Реализация краткосрочных образовательных программ и дополнительного профессионального образования для региона
a_{45}	Экспертно-аналитическое сопровождение органов региональной власти
a_{46}	

Пятая группа показателей (C_5) актуализирует вовлеченность университета в систему государственного и международного обмена знаниями. Индикаторы группы «Вовлеченность в обмен знаниями» представлены в табл. 5.

Таблица 5. Индикаторы группы «Вовлеченность в обмен знаниями»

	Индикаторы
	Программы академической мобильности
a_{51}	– для студентов;
a_{52}	– для ППС
a_{53}	Программы краткосрочной переподготовки
a_{54}	

Шестая группа показателей (C_6) характеризует международную деятельность. Индикаторы представлены в табл. 6.

Таблица 6. Индикаторы группы «Международная деятельность»

	Индикаторы	
a_{61}	Иностранные студенты	Удельный вес иностранных студентов в общей численности обучающихся
a_{62}	Иностранное финансирование	Удельный вес зарубежных грантов и контрактов в совокупном доходе
a_{63}	Иностранные студенты по программам обмена	Доля иностранных студентов, обучающихся по обмену, в общем приеме первокурсников
a_{64}	Иностранные преподаватели	Удельный вес иностранных профессоров в общей численности сотрудников
a_{64}	Студенты, уехавшие по обмену	Отношение численности студентов, отправленных на международные программы обмена, к общей численности первокурсников

Важным шагом, определяющим синтез результатов, является свертка отдельных показателей в группах и последующая свертка в один интегральный показатель для ранжирования объектов. Наиболее распространенным методом свертки является среднее с весом. Свертка требует нормализации значений различных показателей и приведение их к общей шкале измерений. Иначе, один или несколько показателей могут иметь приоритет еще до назначения веса.

Таким образом, необходимым инструментарием определения интегрального показателя является адекватный метод нормализации данных и адекватный метод определения весовых коэффициентов отдельных показателей.

Нормализация данных это не только приведение значений к безразмерному виду, но и сопоставление значений для дальнейшей процедуры агрегирования отдельных показателей. Нормализованное значение определяет величину вклада каждого показателя в общий результат. Одним из наиболее употребляемых методов нормализации, применяемым для случаев разнотипных данных, является преобразование значений к шкале измерений $[0, 1]$. Расчетная формула (метод Max-Min) для критериев выгоды (большее значение лучше) имеет вид:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^{\min}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}, \quad (1)$$

а для критериев затрат (меньшее значение лучше):

$$r_{ij} = \frac{a_j^{\max} - a_{ij}}{a_j^{\max} - a_j^{\min}}. \quad (2)$$

Значение 1 будет характеризовать предельный уровень показателя, значение 0 – отсутствие влияния, а промежуточные значения – долю вклада от максимального.

Определение весовых коэффициентов отдельных показателей в группах и определение межгрупповых коэффициентов определяется степенью важности отдельных показателей в общем результате. Веса, присвоенные критериям при многокритериальной оценке, содержат как качественные, так и количественные данные. Поэтому присвоение весов критериям с использованием качественных данных может зависеть от предпочтений лиц, принимающих решения. В классе субъективных методов оценки весов одним из предпочтительных является экспертно-аналитический метод парных сравнений Т. Саати [22], основанный на парном сравнении значимости показателей в соответствии с числовой шкалой.

Таким образом, оценка весов требует привлечения экспертной оценки для сравнения степени приоритета $n(n-1)/2$ пар показателей для определения матрицы парных сравнений и последующего определения веса.

Итоговая расчетная формула для интегральных показателей на групповом уровне имеет вид

$$k_i = \sum_{j=1}^{p_i} w_{ij} \cdot r_{ij}, \quad (3)$$

где i – номер группы; p_i – число показателей в i -й группе; r_{ij} – нормированное значение j -го показателя i -й группы; w_{ij} – весовой коэффициент j -го показателя i -й группы.

Расчетная формула для интегральных показателей (PI) на межгрупповом уровне имеет вид

$$PI = \sum_{i=1}^p w_i \cdot k_i, \quad (4)$$

где i – номер группы; p – число групп; k_i – интегральное значение индикатора i -й группы; w_i – весовой коэффициент i -й группы.

Описанные выше процедуры нормирования и оценки весов интегрированы в систему ЦИАСУР и составляют инструментальный аппарат обработки системы показателей.

Определим для каждого типа интеллектуальных агентов индикаторы, входящие в один из шести типов группирования. Все индикаторы, не представляющие признаки выбранных в исследовании интеллектуальных агентов будут являться общими. Их вариации не будут прямым следствием функционирования интеллектуальных агентов, но они будут использованы при оценке общего рейтинга университета. Интегральные индикаторы эффективности университета образованы как синтез атрибутов интеллектуальных агентов и общих (прямых) показателей университета, например таких, как размер учебных площадей, материальная база и др.

Индикаторы интеллектуальных агентов «СТУДЕНТ.Группа» (Ag_1): включает в себя следующие атрибуты (табл. 7):

Таблица 7. Атрибуты интеллектуального агента «СТУДЕНТ.Группа»

Неизменяемые атрибуты (деканат)	Рейтинговые атрибуты (по семестрам)	
направление подготовки (ID), шифр специальности (ID), квалификация (ID), срок обучения, шифр ФГОС (ID), год начала обучения, шифр группы ID, количество обучающихся (на начало), наименование выпускающей кафедры (ID), учебный план подготовки ID	Группа ID персонифицированный список студентов (ID-номер зачетной книжки),	
	вход	
	Балл аттестата	
	Баллы ЕГЭ	
	Олимпиады/конкурсы/	
	Коммуникации (общ. работа, языки)	
	Спорт	
	Текущий (по датам)	
	оценки по дисциплинам, (оценка, ID дисциплины, ID преподавателя)	
	Оценки – сумма, средняя, по курсам, по группам дисциплин,	
	Олимпиады/конкурсы/	
	Коммуникации (общ. Работа, языки)	
	Дополнительные индивидуальные показатели (конкурсы, НИРС, публикации, сертификаты, общественная работа, спорт, творчество) Интегрированный рейтинг «Студента» (средний балл и рейтинга дополнительных показателей)	

Вход:

Прием – количество (гос. заказ, контракт)

Выход:

Количество специалистов

интегрированный рейтинг «Студента» (средний балл и рейтинг дополнительных показателей)

интегрированный рейтинг «Группы/специальности/...» (на основе среднего балла, медианы, верхней квартили, нижней квартили и т.п., и рейтинга дополнительных показателей)

Управляющее воздействие:

изменения входного потока (качество и количество приема на специальность вплоть до закрытия профиля/специальности/...)

изменение в работе деканата/института (supervisor)

изменение в работе выпускающей кафедры

Обратная связь (отклик)

Интегральный показатель трудоустройства

(косвенно через интегрированный рейтинг специальности)

Принятие решений (управляющего воздействия) в зависимости от:

соотношения спрос/предложение

Индикаторы интеллектуальных агентов «ППС.Группа» (Ag_2): включает в себя следующие атрибуты (табл. 8).

Таблица 8. Атрибуты интеллектуального агента «ППС.Группа»

Динамические атрибуты, формируемые через деканат и выпускающую кафедру под руководством супервизора (supervisor)	Рейтинговые атрибуты (по семестрам)
Преподаватели ID (из БД-кадры, персональные данные) Подразделение (институт, кафедра) специальность по диплому, шифр специальности по дипломам, квалификация, срок контракта привязка к шифрам «ГРУППА.Студент» ID учебный план подготовки ID дисциплина ID	Преподаватель ID (персонифицированный список) ID, Перечень читаемых дисциплин Опыт работы Ученая степень Ученое звание Коммуникации (общ. работа, языки) Повышение квалификации/ сертификаты Публикационная активность РИНЦ, WoS/Scopus 5–10 лет Поощрения/награды/взыскания

Вход:

«ГРУППА.Преподаватель», ИА учебный план

Выход:

Выбор и ранжирование ИА «ГРУППА.Преподаватель»

Управляющее воздействие:

изменение (модификация) учебного плана (дисциплины, часы, семестр)

изменение (модификация) рабочей программы плана

выбор преподавателя (ротация в соответствии с требованиями и рейтингом)

Обратная связь (отклик)

организована через требования (компетенции)

и интегрированный рейтинг усвоения дисциплины

Принятие решений (управляющего воздействия) в зависимости от:

Соответствие/несоответствие содержания дисциплины требованиям и уровня усвоения дисциплины

в зависимости от применяемых образовательных технологий и квалификации (мастерства) преподавателя

Индикаторы интеллектуальных агентов «НИС.Группа» (Ag₃): включает в себя следующие атрибуты (табл. 9):

Таблица 9. Атрибуты интеллектуального агента «НИС.Группа»

Динамические атрибуты	Рейтинговые атрибуты (по годам)
Шифр НИС.Группы ID Подразделение (институт, кафедра, автономное подразделение, междисциплинарные проектные команды) Направление (область) исследований Выполненные НИР (объемы), патенты Персонифицированный состав (ППС, аспиранты, магистранты и студенты)	Интенсивность инновационной активности: число стартапов и патентов, доходы от контрактов с бизнесом Вовлеченность в государственные исследовательские программы Ориентация на международный уровень научных исследований Объем исследований (Р/чел) Кадровый потенциал Публикационная активность (РИНЦ, WoS/Scopus 5 лет)

Вход:

Направление (область) исследований, численность штатных научных работников

Выход:

Рейтинг ИА «НИС.Группа»

Управляющее воздействие:

изменение спроса (финансирования) на направление исследований

изменение объемов финансирования

патентование научно-технических разработок

система продвижения научно-технических разработок (технопарки)

тиражирование научно-технических разработок

выбор преподавателя (ротация в соответствии с требованиями и рейтингом)

Обратная связь (отклик)

и интегрированный рейтинг НИС.Группа

Принятие решений (управляющего воздействия) в зависимости от:

Эффективности функционирования

ИНТЕГРАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ТРАНЗАКЦИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СРЕДЕ ЦИАСУР

Принятие решений в ЦИАСУР выполняется на основе поиска в базе знаний одного или нескольких продукционных правил вида:

$$\{ \text{Если (Условие 1 и(или) Условие2, \dots) то (Решение 1 и(или) Альтернативные варианты)} \} \\ \cap \{ \text{Если (Решение 1) то (Следствие 11 и(или) Следствие 12, \dots)} \} \\ \{ \text{Если (Решение 2) то (Следствие 21 и(или) Следствие 22, \dots)} \} \dots$$

Возможны три варианта при принятии решений. Первый вариант детерминированный. Процедура поиска находит в базе знаний формализованное решение. Это означает, что условия поиска выполняются точно. Результатом является вполне определенное решение.

Во втором случае условия поиска выполняются точно, однако имеются альтернативы. Эти альтернативы характеризуются набором признаков и являются конфликтующими. Это означает, что по одному или нескольким признакам одна из альтернатив имеет приоритет перед другой, а по другому(им) признакам наоборот. Этот случай относится к области принятия решений по нескольким атрибутам и имеет формализованный аппарат методов многокритериального принятия решений [29]. Интеграция инструментов многокритериального принятия решений в ЦИАСУР представлена ниже.

В третьем случае условия поиска нечеткие, и имеется несколько альтернативных решений, которые, также как и во втором случае, являются конфликтующими и могут быть и четким, и с нечетким выводом. Нечеткие значения входа требуют привлечения аппарата обработки лингвистических переменных, а нечеткий выход обуславливает обработку высказываний (правил, решений), не имеющих количественного содержания. Этот случай относится к области принятия решений по нескольким атрибутам и имеет формализованный аппарат методов многокритериального принятия решений в условиях нечеткой информации [30]. Интеграция инструментов нечеткой логики для обработки лингвистических высказываний в ЦИАСУР представлена далее.

Рейтинговая система оценки объектов и процессов использует ранговую модель многокритериального принятия решений. Ранговая модель представляет собой многошаговую процедуру многомерной классификации или упорядочения множества из m альтернатив (или объектов) A_i , каждый из которых характеризуется набором из n атрибутов относительно выбранных критериев C_j . Ранжирование альтернатив выполняется на основе показателей эффективности Q альтернатив, определяемых путем агрегирования нормированных значений атрибутов. В общем виде ранговая модель имеет следующий вид:

$$A_i \xrightarrow{F} Q_i, i = 1, \dots, m, \\ Q = F(A, C, D, \omega, 'nm', 'dm', 'pr'), \\ A_p \prec A_q \prec \dots \prec A_r \prec A_s, \quad p, q, r, s \in \{1; 2; \dots; m\}. \quad (5)$$

Ранговая модель MCDM включает в себя выбор набора альтернатив (A) и набора критериев (C), оценку значений признаков альтернатив в разрезе каждого критерия – матрицу принятия решений (a_{ij}), метод оценки веса или приоритета критериев (w), выбор метода нормализации (' nm ') матрицы принятия решения, выбор метрики для расчета расстояний в n -мерном пространстве критериев (' dm '), выбор функции предпочтения (' pr '), определение функции агрегирования атрибутов альтернатив (F) для расчета показателя эффективности (Q) каждой альтернативы. Матрица принятия решений a_{ij} содержит значения j -признака i -й альтернативы. На основе расчета совокупного показателя эффективности альтернатив Q производится их ранжирование.

Применимы для принятия решений по многим альтернативам в университетской ЦИАСУР три наиболее используемые в практике модели.

1. Метод взвешенной суммы (SAW) [26]:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij} \quad (6)$$

Лучшей является альтернатива с наибольшим значением показателя эффективности Q_i .

2. Техника порядка предпочтения по сходству с идеальным решением (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions – TOPSIS) [27].

$$Q_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} v_{ij} &= r_{ij} \cdot w_j, S_i^+ = d(v_{ij}, v_j^+), S_i^- = d(v_{ij}, v_j^-), \\ v_j^+ &= \left\{ \max_i v_{ij} \mid \text{if } j \in C_j^+; \min_i v_{ij} \mid \text{if } j \in C_j^- \right\}, \\ v_j^- &= \left\{ \min_i v_{ij} \mid \text{if } j \in C_j^+; \max_i v_{ij} \mid \text{if } j \in C_j^- \right\}. \end{aligned}$$

S_i^+ и S_i^- – расстояние d между альтернативой A_i и идеальным, анти-идеальным объектами соответственно, в n -мерном пространстве атрибутов, определяемое в одной из L_p -метрик. В методе TOPSIS лучшей является альтернатива с наибольшим значением показателя эффективности Q_i .

3. Реляционный анализ Грея (Grey Relational Analysis – GRA) [26].

Оценивает эффективность альтернатив по двум группам – по отношению к идеальным и анти-идеальным объектам. Последовательность расчетов следующая:

а) определить два набора признаков – идеальное и анти-идеальное:

$$r_j^{(1)} = \begin{cases} \max_i (r_{ij}), & \text{if } j \in C_{\max} \\ \min_i (r_{ij}), & \text{if } j \in C_{\min} \end{cases}, \quad r_j^{(2)} = \begin{cases} \min_i (r_{ij}), & \text{if } j \in C_{\max} \\ \max_i (r_{ij}), & \text{if } j \in C_{\min} \end{cases}; \quad (8)$$

б) определить матрицу отклонений нормированных значений от идеального и анти-идеального:

$$V_{ij}^{(1)} = |r_j^{(1)} - r_{ij}|, \quad V_{ij}^{(2)} = |r_j^{(2)} - r_{ij}|; \quad (9)$$

в) определить матрицы коэффициентов отношения Грея:

$$g_{ij}^1 = \frac{\min_i (\min_j V_{ij}^1) + \beta \cdot \max_i (\max_j V_{ij}^1)}{V_{ij}^1 + \beta \cdot \max_i (\max_j V_{ij}^1)}, \quad (10)$$

$$g_{ij}^2 = \frac{\min_i (\min_j V_{ij}^2) + \beta \cdot \max_i (\max_j V_{ij}^2)}{V_{ij}^2 + \beta \cdot \max_i (\max_j V_{ij}^2)}; \quad (11)$$

г) определить показатель эффективности альтернативы Q_i :

$$Q_i = Q_i^1 / Q_i^2, \quad (12)$$

$$Q_i^1 = \sum_{j=1}^n g_{ij}^1 \cdot \omega_j, \quad Q_i^2 = \sum_{j=1}^n g_{ij}^2 \cdot \omega_j. \quad (13)$$

Лучшей является альтернатива с наибольшим значением показателя эффективности Q_i .

Окончательное ранжирование осуществляется на основе статистики результатов трех методов.

Описанные выше процедуры выбора альтернативных решений на основе ранговых методов интегрированы в систему ЦИАСУР и составляют инструментальный аппарат принятия решений. Решения, сформированные на базе знаний о процессах, являются рекомендуемыми. Поэтому описанная система инструментов представляет собой систему поддержки принятия решений.

Процесс получения знаний агентами системы, уровень знаний агентов и многие их характеристики-показатели составляют ту особенную область человека разумного, которую трудно описать не только количественно, но отсутствует и четкость в определении состояния или свойства. Человек использует несколько уточняющих определений для описания таких объектов или применяет семантические высказывания, представляющие собой лингвистические переменные. Поэтому необходим инструментарий обработки лингвистических переменных формализации нечисловых значений, заданных фразами естественного языка. Будем использовать аппарат нечеткой логики для обработки лингвистических переменных [21].

Лингвистическая переменная зарабатывается с помощью пятерки:

$$\{x, T(x), X, G, M\}, \quad (14)$$

где x – имя переменной; X – множество объектов заданного типа; $T(x)$ – множество имен лингвистических значений переменной x ; G – синтаксическое правило для образования имен значений x , порождающее новые термы с использованием квантификаторов «не», «очень», «слегка», «более-менее» и др.; M – семантическая процедура, превращающая каждый терм из $G(T)$ в нечеткую переменную. Например, используя лингвистическую переменную x = “Уровень знаний”, терм-множество: {“низкое”, “среднее”, “высокое”} = {“L”, “M”, “H”} и квантификатор t = {“не”, “не очень”, “более-менее”} = {“t1”, “t2”, “t3”}, можно сконструировать и обрабатывать новые лингвистические высказывания и правила: {Если уровень знаний не очень высокий, то оценки на экзамене будут средние}. Формализация этого лингвистического высказывания имеет вид {If $X = t_2 \cdot H$ then $Q = M$ }.

События (объекты, процессы) предсказываются (оцениваются) с определенной долей уверенности – рангом (числом) из $[0; 1]$. Такая оценка определяется функцией, которая носит название функции принадлежности:

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (15)$$

Применение функции принадлежности позволяет сопоставить лингвистическим переменным числовые значения на множестве $[0, 1]$ и обрабатывать их совместно с нормированными количественными переменными на аналогичном множестве значений $[0, 1]$.

Другой аспект применения нечеткой логики состоит в обработке высказываний (правил, решений), не имеющих количественного содержания. Аппарат нечеткой логики позволяет представить процессы принятия решений и оценки ситуаций человеком в некоторой алгоритмической форме. Для этого используют задание функции принадлежности, которая позволяет для каждого правила, заданного на множестве входных лингвистических переменных X_k с определенным значением термина $T(X_k)$, сопоставить значение функции принадлежности $\mu_T(X_k) \in [0, 1]$. Применение отношений принадлежности, отношений связи и отношений следования позволяет получить нечеткое знание для выходного параметра с его терм значением и соответствующим значением функции принадлежности.

Интеграция инструментов нечеткой логики в ЦИАСУР выполнена с использованием библиотеки FuzzyLogic Toolbox системы MatLab.

АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИАСУР

Определим критерий как средство для измерения уровня или степени проявления какого-то явления. Несколько критериев характеризует явления по различным аспектам, дополняя друг друга для лучшего представления этого объекта. Структура критериев и адекватные процессам значения критериев обеспечивают согласованное и правильное функционирование всех подсистем. Поэтому система критериальных показателей процессов представляет собой ключевое информационное обеспечение ЦИАСУР.

Если критерий оценивает объект (явление) по одному конкретному количественному показателю, то достаточно задать ряд дискретных критериальных значений, точечных или интервальных.

Если есть трудности в количественной оценке показателя, то используют экспертный подход, позволяющий сопоставить качественному (лингвистическому) результату его количественную оценку.

Если критерий оценивает объект (явление) по нескольким показателям одновременно, то выполняют свертку показателей к одному значению (см. раздел выше) и применяют оценку критериальных значений, точечных или интервальных.

Для иерархических систем, лучшим решением при построении критерия верхнего уровня иерархии является свертка критериев нижнего уровня. В этом случае необходимо сочетать аддитивную и мультипликативную свертку (метод WAPRAS – Weighted Aggregated Sum Product Assessment [28]), чтобы сгладить влияние (вклад) одного или группы показателей нижнего уровня.

$$PI = \lambda \cdot \sum_{j=1}^k w_j \cdot k_j + (1 - \lambda) \cdot \prod_{j=1}^n (k_j)^{w_j} . \quad (16)$$

Метод WASPAS представляет собой комбинацию (в пропорциях λ и $(1-\lambda)$) модели взвешенной суммы (Weighted Sum Model – WSM) и модели взвешенного произведения (Weighted Product Model – WPM).

Отметим два свойства критериев, в соответствии с которыми и будем формировать критериальное множество.

1. Относительность критериальных значений. Например, для показателя – процент студентов, сдавших экзаменационную сессию на оценки хорошо и отлично, значение в 15 % может считаться хорошим в одних ситуациях, и низким в других ситуациях, когда, например, сравниваются результаты нескольких вузов, и среднее значение этого показателя составило 25 %. Это свойство применяют для относительного сравнения с использованием значения показателя в выбранный базовый период или к базовой реперной точке.

2. Второе важное обстоятельство – отсутствие формализованных критериев для оценки самих критериев. Поэтому выбор системы критериальных показателей привязывают к ключевым показателям, и эта система может быть различной в различных ситуациях при достижении различных целей.

Следуя приведенным рассуждениям, сформируем для каждой группы показателей точечный и интервальный критерий. Значения показателей количественного типа нормируют, качественные и лингвистические переменные преобразуют в числовые шкалы (описано выше). В результате осуществляется преобразование к единой шкале со значениями на промежутке $[0, 1]$. Значение 1 соответствует лучшему значению признака, а значение 0 – отсутствию признака. Далее образуют свертку, которая представляет интегральное значение. Это значение может рассматриваться только в относительном контексте. Сравнивая текущее и базовое значение, можно сделать заключение как сильно (на сколько процентов) произошло изменение, но нельзя заключить о степени улучшения или ухудшения исследуемого объекта (процесса).

Для оценки степени улучшения применяют экспертные оценки. Необходимо сопоставить числовой шкале интегрального показателя (группового и межгруппового) лингвистическую шкалу с терминами: {“удовлетворительно”, “хорошо”, “отлично”} или с большим числом градаций, т.е. построить шкалу интерпретации критериального множества. Такое соответствие позволяет установить точечные и интервальные критериальные значения для анализа и выработки решений. Схема построения системы критериальных показателей представлена на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм формирования критериальной системы ЦИАСУР

Значение критерия устанавливается на шкале, построенной на основе значений в базовом периоде. Например, интервальное значение $[1,15 \cdot k_i^0, 1,20 \cdot k_i^0]$ можно трактовать, как условие достижения i -й группой показателей заданного результата. Что означает, в данном примере, превышение значения показателя в базовом периоде на 15–20 %.

Описанные выше процедуры формирования критериальной системы на основе экспертно-аналитической трансформации критериев отдельных показателей и групп интегрированы в систему ЦИАСУР и составляют инструментальный аппарат системы.

Валидация и калибровка модели представляют совместную процедуру проверки адекватности и настройки параметров модели. Если в результате проведенной оценки качества модели оказалось, что ее целевые свойства не удовлетворяют фактическим или ожидаемым, возможные решения определяются в зависимости от результата:

1. Модель не отражает основные тенденции, результаты противоречат наблюдениям. В этом случае необходимо пересмотреть основные концепции и структуру модели. Например, ввести в рассмотрение новые процессы, изменить тип событий и т.д.

2. Модель отражает основные тенденции, однако наблюдаются отклонения от фактических результатов. В этом случае необходимо провести процедуру калибровки или подстройки специальных параметров модели.

Особенность проверки адекватности разрабатываемой системы ЦИАСУР состоит в том, что фактические параметры и показатели получены для динамической системы. Состояния системы непрерывно меняются, при этом меняется и отклик системы. Поэтому в этом случае невозможно проведение «ретро-верификации». Процедура «ретро-верификации» сравнивает показатели для некоторого момента времени в прошлом, для которого известны фактические данные. Однако для динамической системы наблюдаемое состояние можно сравнить только с ожиданиями экспертов. Следуя приведенным рассуждениям, адекватность разрабатываемой системы ЦИАСУР проверяется на основе отклонения отклика и ожиданий. В качестве критерия используется величина стандартного отклонения разности между средними значениями откликов модели и ожидаемыми значениями:

$$\sigma^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (k_j - k_{эj})^2. \quad (17)$$

Учитывая, что критериальные показатели являются синтетическими, и значения их ожиданий оценить экспертно затруднительно, возможное решение может быть только относительным. Относительность не требует расчетов. Для этого достаточно понимания тенденций. Например, нетрудно определить ожидания экспертов на определенную перспективу в виде процента роста показателя. Высказывание: «повышение качества образовательного процесса на 7–10 %» может быть основано только на понимании внутренней логики образовательных процессов без количественного обоснования.

Таким образом, блок валидации модели использует оценку качества модели по критерию минимизации отклонения относительных значений, приведенных к базовому периоду:

$$\sigma^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(\frac{k_j - k_{эj}}{k_j^0} \right)^2 \cdot 100. \quad (18)$$

Приемлемая величина отклонения для социально-экономических систем обычно принимается равной 15 %.

Калибровка (подгонка) модели представляет собой процедуру измерений тех характеристик в реальной системе, которые должны быть введены в модель в виде значений параметров и распределений случайных величин. Калибровке подлежат все коэффициенты и параметры модели теоретического или экспертного характера. Особенность калибровки разрабатываемой системы ЦИАСУР состоит в том, что практически все настраиваемые параметры являются синтетическими. Это означает, что нельзя установить значение параметра на основании соответствия ожиданий и фактических результатов.

Для разрабатываемой системы ЦИАСУР калибровке подлежат:

- значения на шкалах желательности для качественных показателей;
- параметры функции принадлежности по каждому оцениваемому показателю;
- значения на шкалах интерпретации числовых значений синтетических показателей.

Калибровка позволяет подобрать значения параметров, минимизирующих целевую функцию. Фактически, калибровка работает по тому же критерию (18). Процедура поиска оптимальных значений параметров модели может быть осложнена многомерностью составного показателя для случая эффектов взаимодействия, когда изменение одного параметра влечет за собой изменения другого.

Описанные выше процедуры проверки адекватности модели и калибровки параметров модели интегрированы в систему ЦИАСУР и составляют инструментальный аппарат системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка результативности университетов с помощью оболочечного анализа данных / И. В. Абанкина [и др.] // Вопросы образования. 2013. № 2. С. 15–48. [I. V. Abankina, et al., "Higher education institutions' efficiency by data envelopment analysis", (in Russian), in *Voprosy obrazovaniya*, no. 2, pp. 15-48, 2013.]
2. Аксенов К. А., Гончарова Н. В. Гибридное моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. М.: Российская академия естествознания, 2019. 222 с. [K. A. Aksekov, N. V. Goncharova, *Hybrid modeling of multi-agent resource conversion processes*, (in Russian). Moscow: Rossijskaya akademiya estestvoznaniya, 2019.]
3. Алескеров Ф. Т., Белоусова В. Ю., Петрущенко В. В. Модели оболочечного анализа данных и анализа стохастической границы в задаче оценки эффективности деятельности университетов // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 2–19. [F. T. Aleskerov, V. Yu. Belousova, V. V. Petrushchenko, "Models of shell data analysis and stochastic frontier analysis in the problem of evaluating the effectiveness of universities", (in Russian), in *Problemy upravleniya*, no. 5, pp. 2-19, 2015.]
4. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с. [V. S. Anfilatov, A. A. Emelyanov, A. A. Kukushkin, *System analysis in management*, (in Russian). A. A. Emelyanov (ed.). Moscow: Finansy i statistika, 2003.]
5. Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: ЗАО «Изд. «Экономика»», 2008. 279 с. [A. R. Bakhtizin, *Agent-based models of the economy*, (in Russian). Moscow: ZAO "Izd. "Economika"", 2008.]
6. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор / пер. Н. Юлиной // General Systems. 1962. Т. VII. С. 1–20. [L. von Bertalanffy, "General System Theory – A Critical Review", (in Russian), in *General Systems*, vol. VII, pp. 1-20, 1962.]
7. Давыдова Е. Н., Сергушичева А. П. Модели обучаемого и преподавателя для мультиагентной обучающей системы // Открытое образование. 2015. № 5 (112). С. 25–31. [E. N. Davidova, A. P. Sergushicheva, "Models of a student and a teacher for the multi-agent training system", (in Russian), in *Otkrytoe obrazovanie*, no. 5 (112), pp. 25-31, 2015.]
8. Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В. Имитационное моделирование экономических процессов / под ред. А. А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. 352 с. [A. A. Emelyanov, E. A. Vlasova, R. V. Duma, *Simulation of economic processes*, (in Russian). A. A. Emelyanov (ed.). Moscow: Finansy i statistika, 2002.]
9. Захаров А. В. Теория игр в общественных науках: учебник для вузов. 2-е изд. исправ. М.: Изд. дом ВШЭ, 2019. 304 с. [A. V. Zakharov, *Theory of games in the social sciences: a textbook for universities. 2nd ed. corrected*, (in Russian). Moscow: Izd. dom VShE, 2019.]
10. Зинченко Д. И., Егоров А. А. Моделирование эффективности российских университетов // Экономический журнал ВШЭ. 2019. Т. 23, № 1. С. 143–172. [D. I. Zinchenko, A. A. Egorov, "Efficiency modeling of russian universities", (in Russian), in *Ekonomicheskij zhurnal VShE*, vol. 23, no. 1, pp. 143-172, 2019.]
11. Ивашкин Ю. А. Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3: учебное пособие. М.: Лаборатория знаний, 2016. 350 с. [Yu. A. Ivashkin, *Multi-agent modeling in the simulation system Simplex3: a tutorial*, (in Russian). Moscow: Laboratoriya znaniy, 2016.]
12. Кузнецов Ю. А., Маркова С. Е. Математическое моделирование динамики смены поколений инновационных технологий // Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского. Серия: Соц. Науки. 2017. № 1 (45). С. 37–45. [Yu. A. Kuznetsov, S. E. Markova, "Mathematical models for the dynamics of innovation technology generation change", (in Russian), in *Vestnik Nizhegorodskogo un-ta im. N. I. Lobachevskogo. Seriya: Socz. Nauki*, no. 1 (45), pp. 37-45, 2017.]
13. Лисицына Л. С. Основы теории нечетких множеств. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 74 с. [L. S. Lisitsyna, *Fundamentals of the theory of fuzzy sets*, (in Russian). St. Petersburg: Universitet ITMO, 2020.]
14. Лямин Б. М. Методическое обеспечение процессов управления инновационной деятельностью высшего учебного заведения: дис. ... канд. экон. наук. Санкт-Петербург, 2020. 172 с. [B. M. Lyamin, *Methodological support of the processes of management of innovative activities of a higher educational institution: Cand. Econ. Sci. Diss.*, (in Russian). St. Petersburg, 2020.]
15. Макаров В. Л. Исчисление институтов // Экономика и математические методы. 2003. Т. 39, № 2. С. 14–32. [V. L. Makarov, "Calculus of institutions", (in Russian), in *Ekonomika i matematicheskie metody*, vol. 39, no. 2, pp. 14-32, 2003.]
16. Малаховская М. В., Павлова И. А., Кобзева Л. В. Университетская инфраструктура инноваций: в поисках коллаборативных моделей // Университетское управление: практика и анализ. 2018. Т. 22, № 5 (117). С. 32–42. [M. V. Malakhovskaya, I. A. Pavlova, L. V. Kobzeva, "University infrastructure of innovations: looking for collaborative models", (in Russian), in *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*, vol. 22, no. 5 (117), pp. 32-42, 2018.]
17. Малков С. Ю. Социальная самоорганизация и социальная динамика в зеркале математического моделирования // Очерки по экономической синергетике / под ред. В. И. Маевского, С. Г. Кирдиной–Чэндлер, М. А. Дерябиной. М.: ИЭ РАН, 2017. С. 17–30. [S. Yu. Malkov, "Social self-organization and social dynamics in the mirror of mathematical modeling", (in Russian), in *Ocherki po ekonomicheskoy sinergetike*. V. I. Maevsky, S. G. Kirdina-Chandler, M. A. Deryabina (eds.). Moscow: IE RAN, 2017.]
18. Малыхин В. И. Математическое моделирование социально-экономической структуры общества. Изд. 2-е, исп. М.: ЛЕНАНД, 2015. 240 с. [V. I. Malykhin, *Mathematical modeling of the socio-economic structure of society. Ed. 2nd, rev.*, (in Russian). Moscow: LENAND, 2015.]
19. Новиков Д. А., Иващенко А. А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием. М.: ЛЕНАНД, 2006. 336 с. [D. A. Novikov, A. A. Ivashchenko, *Models and methods of organizational management of innovative development*, (in Russian). Moscow: LENAND, 2006.]
20. Осипов Г. В., Лисичкин В. А. Математические методы в современных социальных науках: учебное пособие / под общ. ред. В. А. Садовниченко. М.: Норма: ИНФРА-М, 2014. 384 с. [G. V. Osipov, V. A. Lisichkin, *Mathematical methods in modern social sciences: textbook*, (in Russian). V. A. Sadovnichy (ed.). Moscow: Norma: INFRA-M, 2014.]

21. **Прикладные** нечеткие системы / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно; пер. с япон. Ю. Н. Чернышова. М.: Мир, 1993. 368 с. [T. Terano, K. Asai, M. Sugeno (eds.); translated from Japanese by Yu. N. Chernyshova, *Applied fuzzy systems*, (in Russian). Moscow: Mir, 1993.]
22. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с. [T. Saati, *Decision making. Hierarchy analysis method*, (in Russian). Moscow: Radio i svyaz, 1993.]
23. **Тельнов Ю. Ф., Казаков В. А., Козлова О. А.** Динамическая интеллектуальная система управления процессами в информационно-образовательном пространстве высших учебных заведений // Открытое образование. 2013. № 1 (96). С. 40–49. [Yu. F. Telnov, V. A. Kazakov, O. A. Kozlova, “Dynamic intellectual system of process management in information and education environment of higher educational institutions”, (in Russian), in *Otkrytoe obrazovanie*, no. 1 (96), pp. 40-49, 2013.]
24. **Тельнов Ю. Ф., Казаков В. А., Трёмбач В. М.** Создание информационно-образовательного пространства высших учебных заведений на основе сервисно-ориентированной архитектуры и многоагентной технологии // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2013. № 3. С. 533–540. [Yu. F. Telnov, V. A. Kazakov, V. M. Trembach, “Creating of information-educational space based on service-oriented architecture and multi-agent technology”, (in Russian), in *Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektualnyh system*, no. 3, pp. 533-540, 2013.]
25. **Федотова Е. Л., Федотов А. А.** Информационные технологии в науке и образовании: учебное пособие. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2021. 335 с. [E. L. Fedotova, A. A. Fedotov, *Information technologies in science and education: textbook*, (in Russian). Moscow: FORUM: INFRA-M, 2021.]
26. **Archana M., Sujatha V.** Application of Fuzzy MOORA and GRA in Multi-criterion Decision Making Problems // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 53 (9). Pp. 46-50.
27. **Hwang C. L., Yoon K.** Multiple Attributes Decision Making: Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey. Berlin: Springer-Verlag, 1981. XI. 259 p.
28. **Chakraborty S., Zavadskas E. K.** Applications of WASPAS method as a multi-criteria decision-making tool // Informatica. 2014. Vol. 25, Iss. 1. Pp. 1-20. DOI: 10.15388/Informatica.2014.01.
29. **Tzeng G-H., Huang J-J.** Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application. New York: Chapman and Hall/CRC, 2011. 352 p.
30. **Kaya I., Çolak M., Terzi F.** A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making // Energy Strategy Reviews. 2019. Vol. 24. Pp. 207–228.
31. **Kerr E. B., Hiltz S. R.** Computer-mediated communication systems: Status and evaluation. New York: Academic Press, 2013. 212 p.
32. **Zadeh L. A.** Toward a Theory of Fuzzy Systems. E.R.L. Report 69,2. Berkeley: Electr. Research Lab. Univ. of California, 1969.

ОБ АВТОРЕ

НОВИКОВ Сергей Владимирович, проф., дипл. экономиста (УГАТУ, 1999), канд. экон. наук (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. управления в технических и социально-экономических системах.

NOVIKOV, Sergey Vladimirovich, Prof., Dipl. Economist (USATU, 1999), PhD in economics (USATU, 2004). Scientific interests in the field of management in technical & socio-economic systems.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 3 (97), pp. 51-65, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).