

УДК 004.94

Модель нечеткого вывода для поддержки и принятия решений в процессе формирования структуры инфокоммуникационной системы*

А.А. СОРОКИН¹, В.Н. ДМИТРИЕВ², АХМАТ ЮССУФ³

¹ 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева 16, Астраханский государственный технический университет, кафедра «Связь», кандидат технических наук, доцент.
E-mail: alsorokin2@list.ru

² 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева 16, Астраханский государственный технический университет, кафедра «Связь», доктор технических наук, профессор.
E-mail: vndmitriev@yandex.ru

³ 414056, РФ, г. Астрахань, ул. Татищева 16, Астраханский государственный технический университет, кафедра «Связь», аспирант. E-mail: kalimy@mail.ru

Цель работы – повышение эффективности моделей и методов проектирования структур инфокоммуникационных систем с использованием теории нечетких множеств. Функционирование многих методов формирования структур инфокоммуникационных систем основано на допущении, что перечень всех входных параметров определен и четко сформулирован. Практика показывает, что в реальности формирование подобного перечня затруднено, так как на функционирование систем инфокоммуникаций оказывают большое влияние социальные и экономические факторы. Информация о подобных факторах на момент формирования или модернизации структуры инфокоммуникационной системы часто бывает неполной и слабо формализованной. Неверный учет экономических и социальных факторов приводит к принятию неправильных решений в процессе развития структуры системы. В результате неправильных решений компании связи теряют финансовую прибыль. В работе предлагаются метод формирования структуры системы и модель поддержки принятия решений, основанные на использовании искусственного интеллекта. Предложенные модель и метод обобщают опыт экспертов в области формирования и управления структурами инфокоммуникационных систем в виде функций принадлежности и базы знаний. В качестве входных переменных модели используются такие параметры, как капитальные затраты, годовые эксплуатационные расходы, прогнозируемый годовой доход, имиджевый показатель проекта. В результате работы модели формируется балл оценки проекта по развитию структуры инфокоммуникационной системы, на основании которого принимается решение о дальнейшем его внедрении или доработке. Модель используется на двух этапах разработанного метода управления поддержкой и принятием решений в процессе формирования структуры инфокоммуникационной системы: на этапе предварительной оценки проектов перед выполнением технических и экономических расчетов и на этапе окончательной экспертной оценки проекта перед принятием решения о его финансировании.

* Статья получена 7 октября 2015 г.

Ключевые слова: нечеткие множества, искусственный интеллект, база знаний, принятие решений, управление, моделирование, инфокоммуникационная система, экономические факторы, структура сети

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-74-90

ВВЕДЕНИЕ

Телекоммуникационные технологии играют все более важную роль в развитии экономических и социальных процессов, с одной стороны, а с другой стороны, развитие социума и экономических систем порождает новые потребности в развитии технологий по систематизации, обработке и передаче информации [1, 2]. В результате возрастает функциональность систем обработки и передачи информации, но при этом увеличивается сложность их топологических структур. Увеличение сложности топологических структур инфокоммуникационных систем (ИКС) усложняет задачи их проектирования, создания и модернизации [3–5]. Причины усложнения задач проектирования связаны с наличием широкого многообразия технических средств, спектра услуг и целевых аудиторий абонентов, которым оказываются услуги, а также с быстрым изменением факторов, которые влияют на экономическую рентабельность проектов в области инфокоммуникаций [6–8].

Классические методы проектирования ИКС, основанные на учете технических характеристик оборудования и предварительного бизнес-планирования реализуемых проектов, не могут учесть всего многообразия факторов, которые влияют на правильность выбора определенного аппаратного решения, стратегии продвижения услуг и в конечном итоге на успешное внедрение того или иного проекта. В результате широкого многообразия исходных данных при реализации подобных проектов возникает неопределенность. Для решения задач по принятию решений в условиях неопределенности хорошо зарекомендовали себя методы, основанные на использовании теории нечетких множеств. Несмотря на широкое разнообразие работ по развитию области практического использования теории нечетких множеств, вопросам их использования в процессе проектирования структур ИКС уделено недостаточное внимание.

1. ВЫЯВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ИКС

В рамках проводимых исследований, с учетом анализа работ [1, 3–5, 9] под «классическим» методом проектирования ИКС понимается метод, состоящий из следующих основных этапов:

- обоснование актуальности проекта;
- анализ и выбор технических и программных средств для реализации проекта;

- проведение расчетов с использованием теоретических методов и моделей для оценки работоспособности и технической реализуемости проекта;
- описание мероприятий, связанных с безопасной реализацией и последующей эксплуатацией проектируемого технического решения;
- разработка бизнес-плана проекта с целью оценки перспектив его коммерческой эксплуатации, определение норм и сроков окупаемости, оценки затратной и прибыльной частей проекта.

Логический парадокс данной схемы заключается в том, что изначально производится выбор оборудования с последующим выполнением комплекса технических расчетов, а потом оценивается экономическая эффективность, при этом если экономические показатели оказываются негативными, то требуется повторное (а иногда и многократное) выполнение вышестоящих этапов. Данный принцип в упрощенном виде описывает алгоритм, показанный на рис. 1. Дополнительные ограничения на техническую реализуемость кроме экономических факторов накладывает правовая среда. Как известно, перед вводом в эксплуатацию объектов связи требуется оформление большого количества разрешительной документации, что дополнительно отбирает временные и финансовые ресурсы оператора связи. При этом формализация факторов, связанных с правовыми и экономическими вопросами, затруднительна. Опыт показывает, что решение подобных вопросов связано с участием экспертов из различных предметных областей. Содержание высококвалифицированной экспертной группы требует существенных затрат даже для относительно крупных интернет-провайдеров или операторов мобильной связи. Более того, привлекать подобную экспертную группу не всегда возможно, поскольку возникает ряд организационных вопросов, связанных с переездом в другие регионы и с отрывом эксперта от основной работы в «своем» регионе.

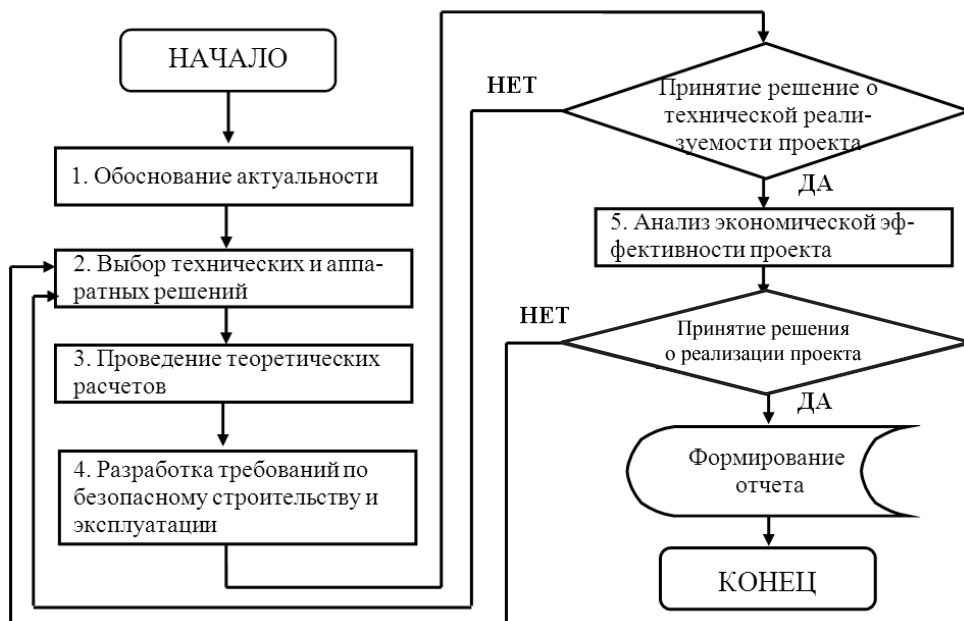


Рис. 1. Упрощенный алгоритм разработки проекта в области инфокоммуникаций

Подобные условия оказывают существенное влияние, когда возникает задача разработки и реализации проектов в регионах или странах с развивающейся экономикой. Во время реализации проектов в подобных регионах возникает ряд вопросов, связанных с обеспечением дополнительных видов защит оборудования и учета дополнительных экономических особенностей заданного региона [7, 8, 10]. Более точный учет факторов требует дополнительного привлечения специалистов.

При этом следует учитывать, что уровень подготовки специалистов в различных регионах может существенно различаться. Особенно это сильно выражено в странах и областях с развивающейся экономикой или в областях, где развитие телекоммуникаций на момент строительства новой сети находится на низком уровне [7, 8]. Снижение подобной зависимости от наличия полного перечня специалистов во время создания инфокоммуникационной структуры особенно важно в ряде стран Африки, Азии, Центральной и Южной Америки, России и некоторых стран Восточной Европы.

2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИКС

Решение задачи, связанной со снижением зависимости от наличия полного перечня специалистов во время создания ИКС, возможно при помощи разработки методов поддержки и принятия решений, основанных на применении возможностей искусственного интеллекта [11–13]. В настоящее время накоплен значительный опыт построения систем инфокоммуникаций различного назначения для работы в широком диапазоне условий, ориентированных на окупаемость с применением различных бизнес-моделей [1–3]. Подобный опыт представляет собой материал для формирования базы данных, на основании которой можно описать множество факторов. В результате определения уровней значимости этих факторов, формализации величин их значений, а также формирования причинно-следственных правил силами экспертного сообщества возможно сформировать рекомендованный вывод. На основании данного вывода принимается решение о перспективности или неперспективности реализации разрабатываемого проекта в области ИКС.

Описанную задачу можно решить методами теории нечетких множеств. Формально в основу разрабатываемого метода можно заложить ряд алгоритмов нечеткого вывода (например, алгоритм Мамдани, Сугено и др.) [13, 14]. В настоящей работе в качестве теоретической основы метода решения задачи поддержки и принятия решений в области построения ИКС заложен алгоритм Мамдани. Формирование нечеткого вывода в этом случае с учетом работ [13, 14] разделяется на следующие этапы:

– «Формирование множества входных переменных и их функций принадлежности». Решение этапа осуществляется экспертной группой применительно к ИКС. В состав экспертной группы рекомендуется включение специалистов в области проектирования и эксплуатации ИКС, специалиста в области бизнес-планирования и специалиста в области управления предприятием отрасли инфокоммуникаций;

– «Формирование базы правил (базы знаний)». Этап представляет собой описание вариантов взаимодействия входных переменных и следствий их

взаимодействий. Задача, как правило, может быть решена усилиями экспертной группы, описанной в п. 1;

– «Фазификация входных переменных». Этап представляет собой процесс перехода от четкого значения входной переменной к лингвистической переменной с определенной степенью принадлежности, реализуется при помощи использования функций принадлежности и выполняется, как правило, программными средствами;

– «Агрегирование подусловий с использованием базы правил». Этап представляет собой процесс определения степени истины каждого из условий для каждого из правил с использованием значений функций принадлежности;

– «Активизация подзаключений с использованием базы правил». Этап представляет собой процесс определения степени истины относительно значения каждого нечеткого высказывания;

– «Аккумулятивное заключение». В процессе выполнения данного этапа происходит объединение нечетких множеств подзаключений для каждой выходной переменной (в рамках развиваемой системы поддержки и принятия решений принимается, что у системы нечеткого вывода используется одна выходная переменная);

– «Получение значения выходной переменной». Этап осуществляется при помощи дефазификации процесса и позволяет при помощи функции принадлежности выходной переменной перейти от ее нечеткого значения к четкому. В результате процедуры дефазификации формируется информация, которая используется для воздействия на объект управления.

Обобщенно процесс нечеткого вывода целесообразно обобщить в виде схемы, показанной на рис. 2. Относительно управления процессом построения или модернизации систем инфокоммуникаций схема, показанная на рис. 2, в частности, применима для проведения предварительной оценки проекта по его примерным технико-экономическим показателям. Использование подобной предварительной оценки позволяет выделить из общего множества проектов, которые технически можно реализовать для достижения цели, поставленной проектировщику, множество проектов, реализация которых экономически целесообразна как в конкретном случае, так и в случае повышения эффективности работы ИКС в целом.

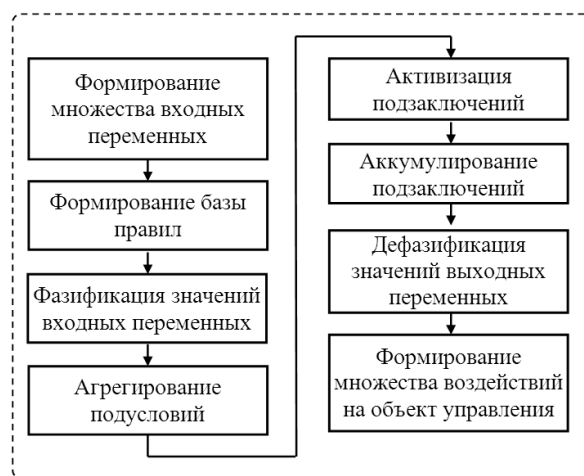


Рис. 2. Схема системы нечеткого вывода

Примером повышения эффективности работы ИКС оператора в целом за счет реализации отдельных проектов является строительство «имиджевых» объектов. Как известно, внедрение и эксплуатация «имиджевых» объектов в «локальном» смысле может оказаться экономически нецелесообразной, а в «широком» смысле положительно повлиять на приток инвестиций к оператору в целом. Практическим примером подобных успешных «имиджевых» проектов является строительство оператором ОАО «Мегафон» базовых станций в северной части Каспийского моря (Астраханская область) [15].

Обобщая изложенное, для управления процессом проектирования ИКС целесообразно предложить новый метод поддержки и принятия решений в процессе формирования топологической структуры телекоммуникационной сети. Метод включает в себя модели, основанные на использовании искусственного интеллекта и классические способы проектирования структуры инфокоммуникационной сети. Целесообразность использования искусственного интеллекта вызвана необходимостью учета большого количества слабоформализуемых экономических и социальных факторов, а также ограниченностью возможностей использования экспертного ресурса. Учитывая накопленный опыт проектирования систем инфокоммуникаций, предложено объединить последовательности операций «классического» метода проектирования, показанных на рис. 1, с системой нечеткого вывода, показанной на рис. 2. С учетом объединения последовательности операций «классического» метода проектирования с системой нечеткого вывода составлена последовательность операций нового интеллектуального метода управления поддержкой и принятием решений в процессе формирования структуры ИКС в целом, а также отдельных ее элементов. Схема нового интеллектуального метода показана на рис. 3.

Отличия метода, показанного на рис. 3, от методов, основанных на выполнении последовательности операций, показанных на рис. 1, заключаются в следующем.

- Изначально должна быть сформирована достаточно большая база данных по оборудованию, пригодному для реализации проекта по развитию структуры сети. В настоящее время формирование и систематизация подобной базы данных не вызывает значительных технических затруднений, так как информация о характеристиках оборудования и ценах на него, а также о стоимости доставки представлена либо на интернет-ресурсах производителей или на площадках интернет-магазинов профессионального оборудования. Примером подобного интернет-ресурса является магазин shop.nag.ru, на сайте которого представлена техническая информация как об оборудовании, так и о его стоимости в зависимости от комплектности и других параметров.

- Сформирована база данных об экономическом состоянии региона, особенностях социальных групп населения.

- Информация об уровне информатизации региона, ценовых характеристиках услуг конкурирующих фирм.

- Экспертная информация о примерных сроках окупаемости аналогичных проектов в других регионах.

- Экспертная информация о повышении привлекательности оператора после реализации аналогичных проектов в других регионах.

- Сформирована база знаний (правил) взаимного влияния входящих факторов на экономическую целесообразность реализации проекта по формированию или реконструкции структуры ИКС.

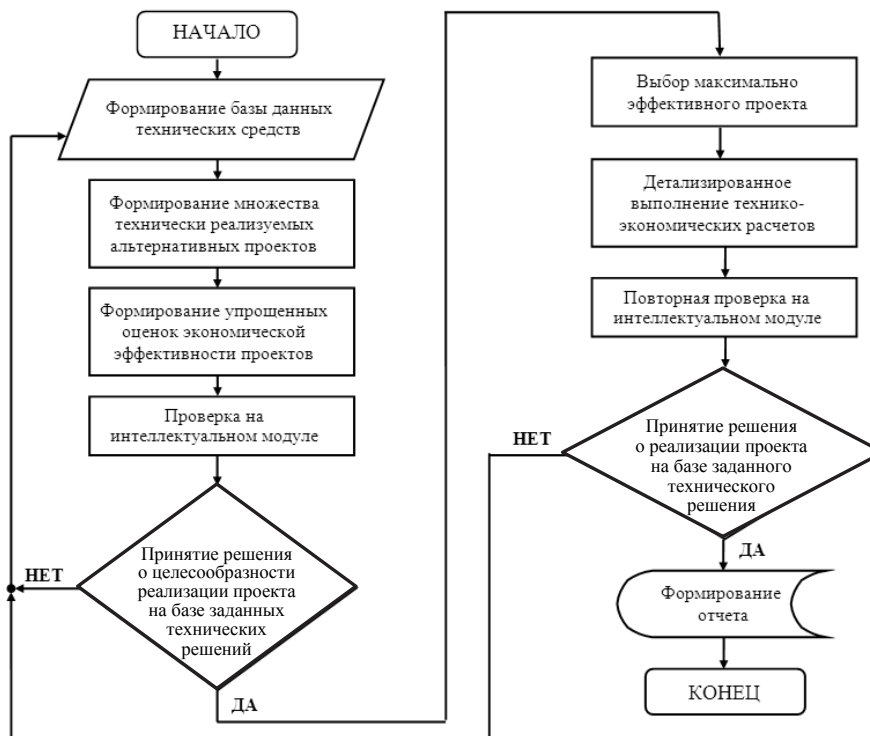


Рис. 3. Схема работы интеллектуального метода управления поддержкой и принятием решений в процессе формирования структуры ИКС

Как видно из рис. 3, «ядром» метода являются модули интеллектуальной предварительной и окончательной проверок технических решений. Практическая реализация модулей интеллектуальной предварительной и окончательной проверок возможна с использованием средств вычислительной техники и специализированного программного обеспечения. Технически задача реализации подобных модулей сводится к разработке математических моделей, основанных на методах теории нечетких множеств, с последующей апробацией модели на оценке уже реализованных проектов и, в случае необходимости, ее корректировкой по результатам апробации.

3. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ИКС, ОСНОВАННОЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Для практической реализации модели использованы возможности программного пакета Matlab с установленным модулем нечеткого вывода FuzzyLogicToolbox [13, 14]. Схема модели показана на рис. 4.

При разработке модели допускалось, что диапазон ее применения составит:

- по капитальным затратам проекта от 0,3 до 8 млн руб.;
- по расходам за год эксплуатации от 0,2 до 2 млн руб. в год;
- по прогнозируемому доходу за год эксплуатации от 0,7 до 7 млн руб.

в год.

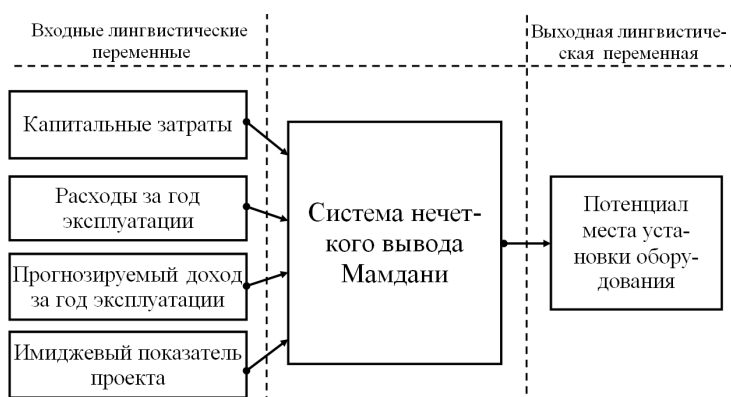


Рис. 4. Схема модели нечеткого вывода в программе Matlab

Значения получены в результате анализа более 20 проектов, которые разработаны при участии авторов статьи и внедрены операторами связи и интернет-провайдерами Астраханской области. В процессе подготовки проектов их результаты обсуждались со специалистами в области связи, маркетинга и экономики. Абсолютные значения входных переменных в рублевом эквиваленте указаны с учетом курса доллара США за июль 2014 года. Подобное обстоятельство вызвано тем, что создание и внедрение анализируемых проектов проводилось в период с 2008 по 2013 год. При использовании модели в условиях других стран ценовые численные характеристики входных параметров модели целесообразно пересчитать в доллары США или евро по курсу Центрального банка России на середину июля 2014 года. Значения входной лингвистической переменной «Имиджевый показатель» приведено как безразмерный коэффициент с диапазоном значений нуля до единицы.

Функции принадлежности каждой из входных переменных составлялись на основании мнений экспертной группы, в состав которой входили специалисты в области проектирования и эксплуатации систем проводной и беспроводной связи. Значения обозначений термов лингвистических переменных на графиках функций принадлежности приведены в соответствии с табл. 7.1, показанной на стр. 188 работы [13]. Для упрощения восприятия модели фрагменты данной таблицы с описанием значений нечетких переменных приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения обозначений термов лингвистических переменных

Обозначение на функции принадлежности	Расшифровка английского обозначения	Русскоязычное общепринятое значение	Русскоязычное значение в рамках модели
NB	Negative big	Отрицательно большое	Низкое
NM	Negative middle	Отрицательно среднее	Скорее низкое, чем среднее
Z	Zero	Ноль	Среднее
PM	Positive middle	Положительно среднее	Скорее высокое, чем среднее
PB	Positive big	Положительно большое	Высокое

Функции принадлежности входных переменных показаны на рис. 5–8, функция принадлежности выходной переменной – на рис. 9.

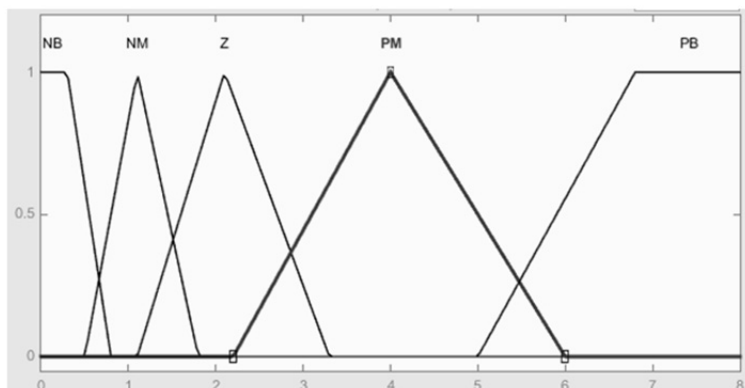


Рис. 5. Функция принадлежности переменной «Капитальные затраты»

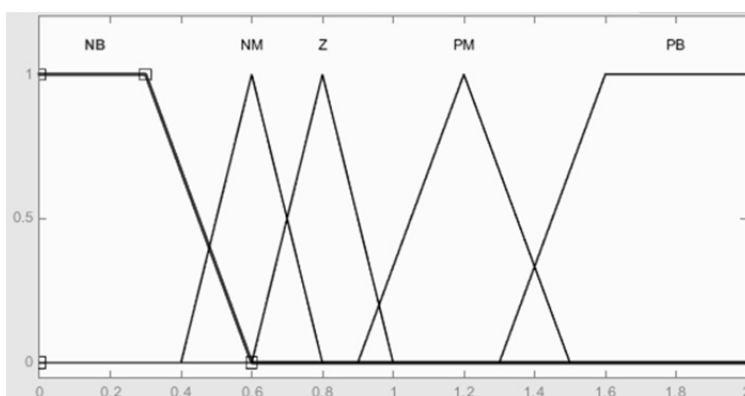


Рис. 6. Функция принадлежности переменной «Расходы за год эксплуатации»

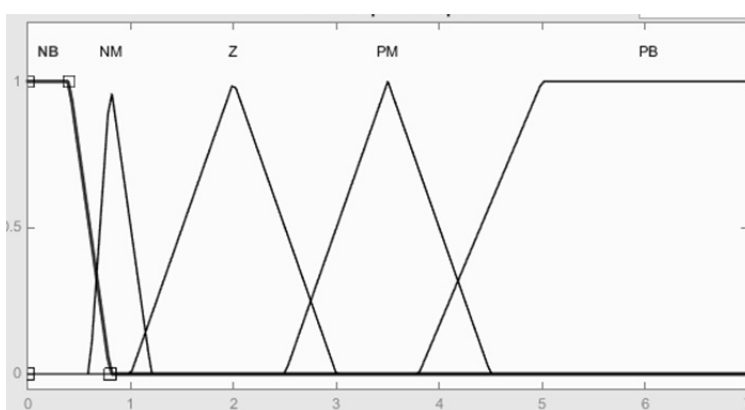


Рис. 7. Функция принадлежности переменной «Прогнозируемый доход за год эксплуатации»

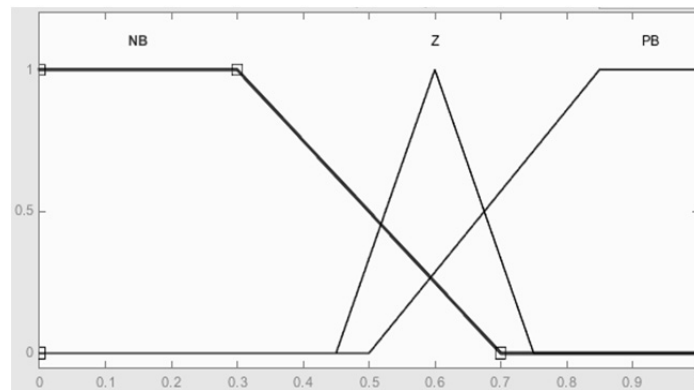


Рис. 8. Функция принадлежности переменной «Имиджевый показатель проекта»

После формирования функций принадлежности лингвистических переменных усилия экспертной группы были направлены на формирование базы знаний в виде множества нечетких продукционных правил. Пример одного из правил имеет вид

$$\text{Rule\#1 if } CE = NB \wedge OC = NB \wedge PI = NB \wedge II = NB \Rightarrow SP = Z, \quad (1)$$

где Rule#1 – правило номер один; *CE* (анг. capital expenditures) – лингвистическая переменная «Капитальные затраты»; *OC* (анг. operating costs) – лингвистическая переменная «Расходы за год эксплуатации»; *PI* (анг. projected income) – лингвистическая переменная «Прогнозируемый доход за год эксплуатации»; *II* (анг. indicator image) – лингвистическая переменная «Имиджевый показатель проекта»; *SP* (анг. space potential) – лингвистическая переменная «Потенциал места установки оборудования».

Общее количество правил для модели, показанной на рис. 4, составило 196, данная база знаний зарегистрирована в реестре программ для ЭВМ за номером 2016620273 [16].

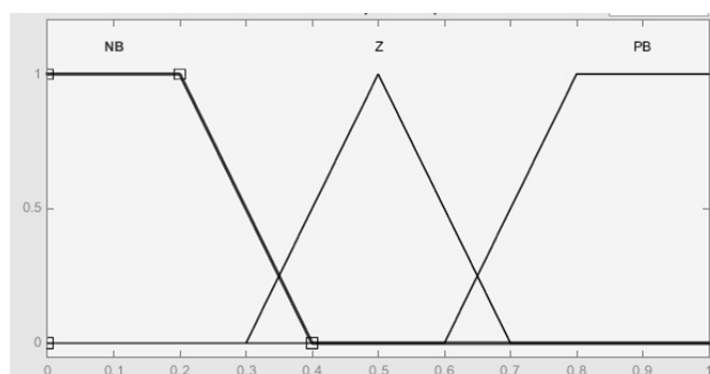


Рис. 9. Функции принадлежности выходной переменной «Потенциал места установки оборудования»

Для отображения вариантов возможных значений выходной переменной в зависимости от входных параметров средствами программного пакета Matlab построена графическая зависимость, показанная на рис. 10.

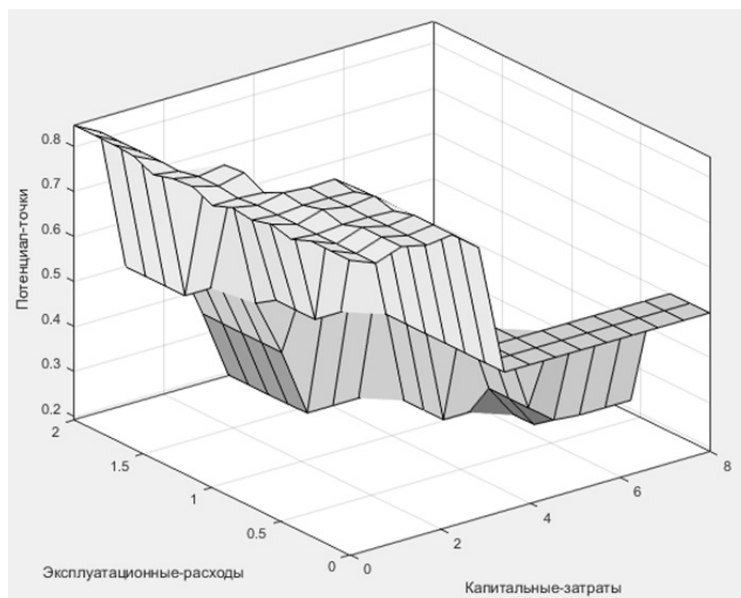


Рис. 10. Графические зависимости значений выходной переменной от значений входных переменных

Следует отметить, что значения выходной переменной получаются в результате взаимодействия всех входных переменных, представление в виде трехмерных графических зависимостей вызвано трудностями формирования m -мерных графических зависимостей, где m – общее количество входных переменных. В частности, рис. 10 показывает значения выходной переменной при заданных капитальных затратах и эксплуатационных расходах.

В процессе работы модели на ее вход подаются численные значения, которые описывают экономические характеристики проекта в области инфокоммуникаций с учетом величины показателя имиджа проекта, т. е. показателя, который повысит лояльность клиентов оператора. На выходе работы модели получается балльная оценка проекта, диапазон значений оценок составляет от нуля до единицы. В рамках проводимых исследований принимается, что проект рекомендуется к внедрению, если выполнено условие

$$SP[CE, OC, PI, II] \geq 0,5. \quad (2)$$

В противном случае проект отвергается.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗОВАННЫХ ПРОЕКТОВ

Корректировка и апробация модели проводилась в процессе анализа дипломных проектов, которые были разработаны для операторов Астраханской области и впоследствии реализованы данными операторами. Перечень некоторых проектов с обобщенными названиями и их основные технико-экономические характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 2

Перечень некоторых проектов с основными технико-экономическими характеристиками

Номер проекта	Обобщенное наименование проекта	Капитальные затраты, млн руб.	Эксплуатационные расходы в год, млн руб.	Валовая прибыль в год, млн руб.
1	Проект базовой станции IMT2000 UMTS в городе на сети федерального оператора мобильной связи	1,2	0,4	1,5
2	Проект базовой станции стандарта 2G/3G для торгового комплекса на сети федерального оператора мобильной связи	1,93	0,59	1,94
3	Проект предоставления мультисервисных услуг связи в элитных домах	1,3	0,7	1,2
4	Проект системы доступа для регионального интернет-провайдера в поселке городского типа	0,81	0,75	1,32
5	Построение базовой станции на острове северной части Каспийского моря для сети федерального оператора мобильной связи	2,4	0,5	0,99

Общим признаком проектов 1–4, описанных в табл. 2, является то, что они направлены на решение задачи увеличения охвата сети и обслуживания определенной группы абонентов, по согласованию с экспертной группой имиджевая оценка данных проектов составила от 0,2 до 0,4. Балл является довольно низким, это говорит о том, что проекты подлежат внедрению только в случае явной экономической выгоды от их внедрения. Проект под номером 5, наоборот, направлен на повышение имиджа оператора мобильной связи с целью привлечения новых абонентов. В рамках проводимых исследований для данного проекта были занижены его экономические характеристики, которые влияют на входящие финансовые потоки. Результат работы модели и сравнительная оценка со сроком окупаемости, рассчитанным по классическим методам, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Перечень некоторых проектов с основными технико-экономическими характеристиками

Номер проекта	Обобщенное наименование проекта	Балл	Примерный срок окупаемости
1	Проект базовой станции IMT2000 UMTS в городе на сети федерального оператора мобильной связи	0,82	Чуть более года
2	Проект базовой станции стандарта 2G/3G для торгового комплекса на сети федерального оператора мобильной связи	0,5	Около 2 лет
3	Проект предоставления мультисервисных услуг связи в элитных домах	0,5	Около 2,5 лет
4	Проект системы доступа для регионального интернет-провайдера в поселке городского типа	0,5	Около 2 лет
5	Построение базовой станции на острове северной части Каспийского моря для сети федерального оператора мобильной связи	0,76	Около 4,5 лет

Из табл. 3 видно, что модель формирует положительную рекомендацию как при проектах с низким имиджевым показателем, так и с высоким, тогда как расчет «классическим» методом показывает, что проект 5 экономически не целесообразен, поскольку его непосредственный срок окупаемости около 4,5 лет. Хотя, как показал практический опыт, несколько подобных объектов позволили повысить эффективность всей сети оператора в регионе. Учет дополнительных факторов при использовании классических методов экономической оценки усложняет расчеты, так как требует учета различных факторов, формализация которых классическим средствами затруднена и требует более детального анализа взаимосвязей различных социальных и экономических систем региона. Предложенная модель, в отличие от известных моделей, использует опыт экспертной группы. Дополнительно функционал модели предусматривает ее развитие в процессе эксплуатации за счет уточнения базы знаний и функций принадлежности входных и выходных переменных.

ВЫВОДЫ

Разработан метод управления поддержкой и принятием решений в процессе формирования структуры ИКС. Метод основан на использовании искусственного интеллекта в процессе выполнения промежуточных оценок технических решений по построению или модернизации структуры ИКС. Применение метода позволяет провести выбор наиболее целесообразной конфигурации технических решений из множества возможных. В качестве критериев оценки используются экономические показатели эффективности внедрения.

Для практической реализации метода разработана модель для поддержки и принятия решений в процессе формирования структуры ИКС, основанная на использовании методов теории нечетких множеств. В качестве основы принятия решений используется метод нечеткого вывода Мамдани. Технически модель реализована средствами программного пакета Matlab. Входными переменными модели являются капитальные затраты на строительство объекта, эксплуатационные расходы, объем прогнозируемого входящего денежного потока, имиджевый показатель проекта, выход модели – показатель качества проекта. Усилиями экспертной группы, в составе которой были специалисты в области проектирования и эксплуатации ИКС, на основании анализа проектов, результаты которых внедрены в эксплуатацию, составлены функции принадлежности входных и выходных параметров модели, а также база 196 нечетких продукционных правил.

Проверка работоспособности модели проводилась при помощи анализа реальных проектов по развитию структур сетей операторов и провайдеров. В результате анализа показано, что модель упрощает оценку проектов как направленных на решение задач по определению целесообразности внедрения обычных коммерческих проектов, так и проектов, направленных на повышение имиджа оператора связи.

Таким образом, реализованные метод и модель позволяют упростить общую задачу построения и модернизации структур ИКС за счет расширения области применимости и обобщения навыков экспертных групп как из областей проектирования и технической эксплуатации, так и оценки коммерческой эффективности использования ИКС, а также накопления, систематизации и обработки ретроспективной и текущей информации, необходимой для развития сетей телекоммуникаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубицкая Е.А. Экономика связи: учебник для студентов вузов. – М.: ИРИАС, 2006. – 488 с.
2. Чаадаев В.К. Бизнес-процессы в компаниях связи. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 176 с.
3. The telecommunications handbook: engineering guidelines for fixed, mobile, and satellite systems / ed. by Jyrki T.J. Penttinen. – Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2015. – 1007 p.
4. Комашинский В.И., Максимов А.В. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации: основы моделирования. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 176 с.
5. Zhang Y., Luo J., Hu H. Wireless mesh networking: architectures, protocols and standards. – Boca Raton: Auerbach Publ., 2007. – 592 p.
6. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
7. Дмитриев В.Н., Ахмат Ю., Сорокин А.А. Многофакторный анализ социально-экономического состояния Республики Чад для создания современной инфокоммуникационной инфраструктуры // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 1. – С. 56–65.
8. Алгоритм выбора места расположения узлов инфокоммуникационной сети, основанный на применении обобщенного показателя качества / В.Н. Дмитриев, А.А. Сорокин, Ю. Ахмат, Г. Алавади // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 2. – С. 71–78.
9. Телекоммуникационные системы и сети. В 3 т. Т. 3. Мультисервисные сети / В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев; под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2005. – 592 с.

10. Сорокин А.А., Дмитриев В.Н., Пицин О.Н. Инфокоммуникационные системы транспортных магистралей: монография / под общ. ред. В.Н. Дмитриева; Астраханский государственный технический университет. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2015. – 208 с.
11. Антонов А.В. Системный анализ: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
12. Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с. – (Методы классической и современной теории автоматического управления; т. 5).
13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
14. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.
15. Каспийское солнце обеспечит 3G-связь «МегаФона» в дельте Волги [Электронный ресурс]. – URL: <http://corp.megafon.ru/press/information/20120823-1146.html> (дата обращения: 20.04.2016).
16. База правил для нечеткого вывода по определению экономического потенциала места установки телекоммуникационного оборудования: свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620273 / В.Н. Дмитриев, Ю. Ахмат, А.А. Сорокин, А.А. Горюнов. – Зарег. 20.02.2016.

Дмитриев Вадим Николаевич, доктор технических наук, профессор Астраханского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – повышение эффективности управления и эксплуатации перспективных телекоммуникационных систем. Имеет более 250 публикаций. E-mail: vndmitriev@yandex.ru

Сорокин Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент Астраханского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – нечеткие системы, сети инфокоммуникаций. Имеет около 100 публикаций. E-mail: alsorokin2@list.ru

Ахмат Юссуф, инженер, аспирант кафедры «Связь» Астраханского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – повышение эффективности проектирования систем инфокоммуникаций в условиях неопределенности. Имеет около 10 публикаций. E-mail: kalimy@mail.ru

A fuzzy inference model to support decision making in shaping the structure of info-communications systems*

A.A. SOROKIN¹, V.N. DMITRIEV², YOUSOUF AHMAT³

¹ Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, PhD (Eng.), associate professor. E-mail: alsorokin2@list.ru

² Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), Sciences, professor. E-mail: vndmitriev@yandex.ru

³ Astrakhan State Technical University, 16, Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, graduate student. E-mail: kalimy@mail.ru

The purpose of this paper is improving the efficiency of the models and methods of designing structures of infocommunications systems using the fuzzy sets theory. The operation of many methods of infocommunications system structure formation is based on the assumption that the list of all input parameters is defined and is clearly articulated. Experience shows that the formation of such a list is difficult, since the functioning of infocommunications systems is influenced by social and economic factors. Information about these factors in the process of forming or upgrading the structure of an infocommunications system is often incomplete and

* Received 7 October 2015.

poorly formalized. An incorrect account of economic and social factors leads to wrong decisions in the process of developing the system structure. Due to wrong decisions communication companies lose profits. The paper proposes a method of forming the system structure and a decision support model based on the use of artificial intelligence. The proposed model and method generalize the experience of experts in the field of formation and management structures of communication systems in the form of membership functions and the knowledge base. As input variables of the model such parameters as capital costs, annual operating costs, projected annual income, and an image component of the project are used. As a result of the model functioning an estimation point of the project for the development of the structure of an infocommunications system is formed on which a decision concerning its further introduction or elaboration is based. The model is used at two stages of the proposed method of management support and decision-making in the process of the structure of infocommunications system formation, namely at the stage of a preliminary assessment of projects before performing technical and economic calculations and at the stage of a final expert assessment of the project before making a decision on its financing.

Keywords: Fuzzy set; artificial intelligence; knowledge base; decision making; management; modeling, infocommunication system; economic factor; network structure

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-74-90

REFERENCES

1. Golubitskaya E.A. *Ekonomika svyazi* [The economy of telecommunications]. Moscow, IRIAS Publ., 2006. 488 p.
2. Chaadaev V.K. *Biznes-protsessy v kompaniyakh svyazi* [The business processes in a telecommunication companies]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2004. 176 p.
3. Penttinen Jyrki T.J., ed. *The telecommunications handbook: engineering guidelines for fixed, mobile, and satellite systems*. Chichester, West Sussex, UK, John Wiley & Sons, 2015. 1007 p.
4. Komashinskii V.I., Maksimov A.V. *Sistemy podvizhnoi radiosvyazi s paketnoi peredachei informatsii: osnovy modelirovaniya* [The mobile radio systems with packet transmission of information: the fundamentals of modeling]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2007. 176 p.
5. Zhang Y., Luo J., Hu H. *Wireless mesh networking: architectures, protocols and standards*. Boca Raton, Auerbach Publ., 2007. 592 p.
6. Vishnevskii V.M. *Teoreticheskie osnovy proektirovaniya komp'yuternykh setei* [The theoretical foundations of computer network design]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2003. 512 p.
7. Dmitriev V.N., Akhmat Yu., Sorokin A.A. Mnogofaktornyi analiz sotsial'no-ekonomicheskogo sostoyaniya Respubliki Chad dlya sozdaniya sovremennoi infokommunikatsionnoi infrastruktury [Multivariate analysis of social and economic state of the republic of chad for formation of the modern communication infrastructure]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, vol. 1, pp. 56–65.
8. Dmitriev V.N., Sorokin A.A., Akhmat Yu., Alavadi G. Algoritm vybora mesta raspolozheniya uzlov infokommunikatsionnoi seti, osnovannyi na primenenii obobshchennogo pokazatelya kachestva [Algorithm of choosing a place of allocation of nodes of information communication networks, based on application of the generalized quality indicator]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2015, vol. 2, pp. 71–78.
9. Velichko V.V., Subbotin E.A., Shuvalov V.P., Yaroslavtsev A.F. *Telekommunikatsionnye sistemy i seti*. V 3 t. T. 3. *Multiservisnye seti* [Telecommunication systems and networks. In 3 vol. Vol. 3. Multi-service networks]. Ed. by V.P. Shuvalov. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2005. 592 p.
10. Sorokin A.A., Dmitriev V.N., Pischin O.N. *Infokommunikatsionnye sistemy transportnykh magistralei* [Infocommunication systems of transport highways]. Ed. by V.N. Dmitriev. Astrakhan', ASTU Publ., 2015. 208 p.

11. Antonov A.V. *Sistemnyi analiz* [The system analysis]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 454 p.
12. Pupkov K.A., Egupov N.D., eds. *Metody sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya* [The methods of modern control theory]. 2nd ed. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. 784 p.
13. Leonenkov A.V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB environment and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV–Petersburg Publ., 2005. 736 p.
14. Shtovba S.D. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems MATLAB tools]. Moscow, Goryachaya liniya–Telekom Publ., 2007. 288 p.
15. *Kaspiiskoe solntse obespechit 3G-svyaz' "MegaFona" v del'te Volgi* [Caspian-sun will provide 3G communication in the Volga delta from "MegaPhon"]. Available at: <http://corp.megafon.ru/press/information/20120823-1146.html> (accessed 20.04.2016)
16. Dmitriev V.N., Akhmat Yu., Sorokin A.A., Gorbunov A.A. *Baza pravil dlya nechetkogo vyvoda po opredeleniyu ekonomicheskogo potentsiala mesta ustanovki telekom-munikatsionnogo oborudovaniya* [The rule base for fuzzy inference to determine the economic potential of the installation place of telecommunications equipment]. The Certificate on official registration of the database. No. 2016620273, 2016. (In Russian, unpublished)