

РОЛЬ ЭКСПЕРТА И ЗАДАЧА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО РЕШЕНИЯ

Журавлев А.Ю.

Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия
a@zhuravlev.works

Аннотация. В статье рассматривается роль экспертной оценки в логико-лингвистическом моделировании систем поддержки принятия инвестиционных решений. Уточняются задачи эксперта, предлагается подход к формализации его знаний и их интеграции в модель для обеспечения обоснованности и эффективности принимаемых решений.

Ключевые слова: инвестиции, логико-лингвистическое моделирование, система поддержки принятия решений, нечеткая логика.

Введение

В эпоху экономической нестабильности и постоянных рыночных колебаний ключевое значение приобретает способность грамотно управлять инвестиционными активами. Эффективность вложений напрямую связана с профессионализмом аналитиков и точностью работы автоматизированных инструментов для принятия финансовых решений. Одним из наиболее перспективных подходов к созданию интеллектуальных систем управления инвестициями становится метод логико-лингвистического моделирования [1-3]. При этом критически важным аспектом является четкое определение функций профессиональных оценщиков и конкретных целей их экспертной деятельности в рамках данного типа моделирования.

Современные автоматизированные помощники для принятия решений, функционирующие как продвинутое вычислительные комплексы, способны эффективно ассистировать пользователю, хотя и не могут полностью заменить человека в процессе выработки стратегий [4, 5]. Яркими примерами таких инструментов служат инновационные системы планирования и автоматизированные платформы для биржевой торговли, оперативно реагирующие на рыночные колебания. Эти технологические решения представляют собой наиболее успешную на сегодняшний день реализацию принципов искусственного интеллекта в специализированных областях. Они не только сохраняют и систематизируют экспертные знания, но и делают их доступными для широкого круга пользователей, существенно повышая их аналитические возможности.

Подобные системы демонстрируют универсальность применения в различных сферах, где необходимо анализировать информацию и формировать обоснованные выводы. Они способны вести диалог с пользователем, проводить комплексную оценку ситуации и формировать логически обоснованные заключения, которые могут быть воспроизведены и объяснены для конечного пользователя. Современные автоматизированные экспертные системы, несмотря на впечатляющие достижения в моделировании человеческого мышления, все же существенно ограничены в своих возможностях. Они успешно справляются с анализом качественных и слабоструктурированных задач, но не способны воспроизвести уникальные человеческие качества: способность к сомнению, критическое мышление, взвешенный подход к проблемам и объективную оценку ситуации.

В условиях рыночной турбулентности и высокой степени неопределенности такие системы сталкиваются с серьезными ограничениями. Основная проблема заключается в том, что они не могут эффективно обрабатывать неколичественные параметры, учитывать субъективные аспекты экспертной оценки и комплексно анализировать множество значимых факторов, влияющих на принятие решений. Более того, эти системы остаются вспомогательными инструментами, не способными полностью заменить человека в процессе выработки стратегических решений. Они не могут воспроизвести интуитивное понимание проблемы, которое часто приходит к эксперту в результате многолетнего практического опыта и глубокого погружения в предметную область [6, 7].

Несмотря на значительный прогресс в развитии искусственного интеллекта, роль человеческого фактора в принятии важных решений остается незаменимой, особенно когда речь идет о сложных, многофакторных задачах с высокой степенью неопределенности.

1. Задачи экспертной оценки

В условиях современного рынка, где царит неопределенность, крайне важно систематизировать и тщательно анализировать все факторы, влияющие на инвестиционные решения. Благодаря стремительному развитию технологий и инженерии знаний появилась реальная возможность структурировать и формализовать эти факторы, учитывая их количество и соответствие историческим тенденциям.

Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений становится реальным благодаря слаженной работе трех ключевых групп специалистов [8]:

- разработчиков интеллектуальных информационных систем;
- программистов, создающих необходимые инструменты;
- профильных экспертов, обладающих глубокими знаниями в конкретной области.

При этом вопрос о монопольном праве на использование таких систем остается за рамками текущего обсуждения.

Настоящий эксперт должен соответствовать строгим критериям профессиональной компетенции и наделен следующими качествами:

- выдающимися интеллектуальными способностями;
- значительным практическим опытом в своей сфере;
- признанием профессионального сообщества;
- активной научной деятельностью и участием в исследованиях;
- наличием авторитетных публикаций в профильных изданиях;
- получением образования в престижных учебных заведениях;
- высоким социальным положением и профессиональным статусом.

Только обладая всеми этими качествами, специалист может эффективно анализировать ситуацию и принимать взвешенные инвестиционные решения в условиях рыночной неопределенности.

При создании современных систем поддержки принятия решений необходимо учитывать ряд фундаментальных требований:

- экспертная интерпретация – система должна уметь не только применять определенные методы, но и объяснять их на понятном человеку языке, демонстрируя прозрачность принимаемых решений;
- компетентность специалистов – в процессе разработки должны участвовать эксперты высокого уровня, чьи решения превосходят результаты работы начинающих специалистов. Это критически важно для объективной оценки эффективности создаваемой системы поддержки инвестиционных решений.

Процесс разработки такой системы требует слаженной работы профессионалов различных профилей:

- эксперт в настоящей исследуемой области, задачи которой будет решать система;
- инженер по знаниям – специалист по разработке системы (используемые им технологии, методы называют технологией (методами) инженерии знаний);
- программист по разработке инструментальных средств, предназначенных для ускорения разработки системы поддержки принятия инвестиционного решения.

В процессе разработки системы поддержки инвестиционных решений центральную роль играют два специалиста – эксперт-аналитик и инженер по знаниям. Эксперт отвечает за определение и систематизацию ключевых данных и правил, анализирует факторы и риски инвестиционного решения, устанавливает взаимосвязи между различными параметрами проблемной области. Он также обеспечивает полноту и корректность внедрения знаний в систему.

Инженер по знаниям выступает в роли помощника эксперта, способствуя выявлению и структурированию необходимых знаний. Этот специалист занимается подбором оптимальных инструментов для конкретной задачи, определяет формат представления знаний в системе и программирует стандартные функции, которые впоследствии будут использоваться экспертом при работе с правилами.

Современная практика создания подобных систем базируется на методологии быстрого прототипирования. В отличие от традиционного подхода, когда разработчики стремятся сразу создать конечный продукт, здесь на начальном этапе создаются прототипы системы. Эти прототипы должны одновременно решать типичные задачи конкретного приложения и при этом требовать минимальных временных и трудовых затрат на разработку. Такой подход позволяет эффективно совмещать процессы накопления и отладки знаний, осуществляемые экспертом, с выбором и разработкой программных средств, которыми занимаются инженер по знаниям и программист.

При создании прототипа активно используются различные инструменты, ускоряющие процесс проектирования. Основная задача прототипа – продемонстрировать эффективность методов инженерии знаний для конкретного приложения. В случае успешного тестирования эксперт совместно с инженером по знаниям расширяет базу знаний прототипа о проблемной области. При неудовлетворительных результатах может потребоваться разработка нового прототипа или даже пересмотр целесообразности применения методов системы поддержки принятия решений для данного приложения.

По мере накопления знаний прототип постепенно эволюционирует до состояния, когда способен эффективно решать все поставленные задачи. Финальный этап разработки включает репрограммирование системы на низкоуровневых языках, что позволяет существенно повысить скорость работы и оптимизировать потребление памяти. Важно отметить, что общая трудоемкость и продолжительность создания системы поддержки инвестиционных решений во многом определяются выбранным инструментарием.

Важнейшей характеристикой современных систем поддержки инвестиционных решений выступает их способность к саморазвитию и адаптации. Хотя технически этот процесс правильнее называть не обучением, а расширением базы знаний – система обогащается новыми правилами и алгоритмами действий в меняющихся условиях рынка.

При этом важно понимать определенные ограничения данного механизма. Во-первых, количество возможных правил и сценариев, которые может усвоить система, остается конечным и заранее заданным. Во-вторых, существующие методы реализации так называемого «самообучения» вызывают определенные дискуссии в профессиональном сообществе.

Несмотря на эти ограничения, возможность адаптации к новым условиям представляет собой значительный шаг вперед в развитии систем поддержки принятия решений. Она позволяет им более гибко реагировать на изменения рыночной среды и совершенствовать качество принимаемых инвестиционных рекомендаций. Однако для достижения действительно высокого уровня адаптивности требуются дальнейшие исследования и совершенствование применяемых подходов.

Одним из ключевых особенностей системы поддержки принятия инвестиционного решения является возможность самостоятельного «обучения» и самосовершенствования. Технически это, безусловно, не обучение, а пополнение базы знаний новыми правилами и инструкциями поведения в новых условиях. Тем не менее набор таких правил все еще конечен и ограничен. А сами подходы к реализации самостоятельного обучения – неоспорны.

Предполагается, что подобные актуальные интеллектуальные решения должны уметь:

- эффективно обрабатывать информацию, задействуя механизмы логического вывода, при небесконечных ресурсах времени и памяти, что автоматически предполагает одновременное выполнение нескольких задач;
- использовать результаты нескольких одновременных, но асинхронных процессов, запускаемых в рамках, заложенных или автоматически определяемых приоритетов;
- своевременно принимать динамические данные из внешней среды, хранить их и анализировать;
- при всем вышесказанном фантастическом поведении обеспечивать дружелюбность и предсказуемость принятия решения;
- выполнять заданные задачи в соответствии с заданными временными ограничениями;
- «предполагать» новые условия, для поведения в которых потребуются (само)обучиться новым правилам;
- вести протокол своего логического вывода на случай аварийного возобновления работы;
- вносить в базу знаний новые правила, отражающие реальные условия, в которых может функционировать система;
- ориентировать свои подсистемы на решаемые в данный момент задачи, исходя из их проблемной составляющей;
- иметь дружелюбный интерфейс и обеспечивать беспрепятственное взаимодействие с рядовым пользователем;
- обеспечивать необходимый уровень защиты данных и знаний и предотвращать несанкционированный доступ к ним.

Появление и активное внедрение систем поддержки инвестиционных решений, отвечающих современным техническим требованиям, свидетельствует о значительном прогрессе в развитии данной отрасли. Это явный признак того, что рынок готов к интеграции инновационных технологий в процесс принятия инвестиционных решений.

Подобные системы становятся неотъемлемой частью бизнес-процессов, что говорит о зрелости как самой технологии, так и рыночного окружения. Участники рынка все активнее признают эффективность и целесообразность использования автоматизированных решений при принятии инвестиционных решений, что способствует дальнейшему развитию и совершенствованию подобных систем.

Такой подход позволяет не только оптимизировать процесс принятия решений, но и существенно повысить качество анализа инвестиционных возможностей, что особенно важно в условиях постоянно меняющегося рынка и растущей конкуренции. Готовность рыночных агентов к использованию подобных решений открывает новые перспективы для развития финансового сектора и повышения эффективности инвестиционного процесса в целом.

2. Описание подхода к формализации неколичественных факторов принятия инвестиционного решения

Эффективное управление финансовыми активами, организационными процессами и распределением ресурсов напрямую зависит от качества принимаемых инвестиционных решений. Эксперт действует в соответствии с четко определенным набором внутренних правил и избирательно анализирует поступающие сигналы. Его действия основываются на личном опыте и соответствии принятой индивидуальной торговой системе.

В современных условиях рыночной нестабильности особую актуальность приобретает структурированный подход к анализу факторов принятия решений. Информационная перегрузка, неоднозначность интерпретации событий, работа с привлеченными средствами – все это ставит под сомнение эффективность традиционного индивидуального подхода к принятию инвестиционных решений.

Важно понимать, что инвестиционное решение – это не просто оценка отдельных проектов. В условиях высокой ликвидности фондов такие решения принимаются регулярно и требуют тщательного обдумывания из-за значительных рисков. Процесс принятия решений основывается на анализе как количественных, так и качественных факторов в сочетании с накопленным опытом.

Организация этого процесса может принимать различные формы – от структурированных корпоративных информационных систем до неформализованных личных предпочтений, выражаемых в таких понятиях, как «слишком дорого» или «стоит рассмотреть покупку».

Сложность принятия инвестиционных решений обусловлена множеством факторов:

- разнообразием типов инвестиций;
- ограниченностью финансовых ресурсов;
- уровнем рисков;
- необходимостью учета множества переменных.

Все это требует системного подхода к процессу принятия решений и разработки эффективных механизмов анализа и оценки инвестиционных возможностей [9, 10].

Это значит, что эксперт располагает необходимым инструментарием для скорейшей реакции на всевозможные внешние события, а также историческим аппаратом, содержащим в себе данные для тщательного технического анализа. Важно отметить, что набор используемых правил всегда ограничен и строго регламентирован. Это обусловлено необходимостью минимизации рисков при работе с активами, особенно в контексте деятельности управляющих компаний, где любая непродуманная инициатива может привести к серьезным последствиям.

Процесс принятия инвестиционного решения характеризуется своей завершенностью и конечностью. Независимо от итогового результата (положительного или отрицательного), решение всегда принимается в течение определенного временного периода. При этом все факторы, влияющие на решение, образуют ограниченное множество, соотносимое с временным интервалом его актуальности.

Факторы принятия решений представляют собой комплексную систему, включающую:

- структурированные исторические данные;
- внешние рыночные события;
- различные экономические показатели;
- субъективные оценки.

Спектр учитываемых факторов чрезвычайно широк – от формализованных статистических данных до интуитивных оценок. К сожалению, особой проблемой является факт, что подавляющее большинство факторов – неколичественные, который может оказаться учтенным и обработанным

машиной исключительно после формализации. Потому особого внимания заслуживает проблема неопределенности при принятии инвестиционных решений. Согласно исследованиям признанного эксперта в области нечетких множеств А.О. Недосекина, «два укрупненных вида неопределенности, как отсутствие точного знания относительно состояния параметров рынка (неясность) и нечеткость классификации текущего положения эмитента и состояния рынка данной ценной бумаги» [9].

Согласно предложенному А.О. Недосекиным подходу, именно условие повышенной неопределенности является питательной средой и необходимым фактором существования и функционирования рыночных механизмов, оказывающим непосредственное воздействие на принятое инвестиционное решение.

Особую сложность представляет влияние исключительных случаев — прецедентов, которые могут существенно подорвать уверенность в существующих подходах к принятию решений. Именно поэтому критически важным становится разработка четкого внутреннего регламента, который служит гарантией объективной оценки ситуации на рынке.

В рамках теоретико-алгоритмического подхода процесс принятия решений рассматривается как упорядоченная последовательность детерминированных операций, направленных на идентификацию и реализацию оптимального альтернативного варианта из предварительно сформированного множества возможных решений. Методологическая основа алгоритмического анализа принятия решений базируется на структурированной системе компонентов, включающей входные информационные массивы, комплекс обрабатывающих операций, систему оценочных критериев и результирующие выходные параметры.

Реализация алгоритмического процесса осуществляется посредством последовательной имплементации следующих этапов: идентификация проблемной ситуации с последующим сбором и анализом релевантной информации; формализация задачи через постановку целевых ориентиров, уточнение критериев оценки и определение ограничительных факторов; генерация и структурирование альтернатив с их предварительной оценкой; комплексный анализ и выбор оптимального решения посредством сравнительного анализа альтернатив и применения формализованных методов; практическая реализация принятого решения с разработкой имплементационного плана и организацией системы контроля.

В качестве формальных инструментов алгоритмического подхода используются критерии полезности для оценки ожидаемой эффективности, методология теории игр для анализа конкурентного взаимодействия, оптимизационные алгоритмы для поиска наилучших решений, а также экспертные системы, базирующиеся на аккумуляции и обработке накопленных знаний.

Характерными особенностями алгоритмического подхода выступают детерминированность получаемых результатов при идентичных входных параметрах, дискретность процесса, обеспечивающая его структурированность, массовость применения к однотипным ситуациям и гарантированная результативность, выражающаяся в получении конкретного решения за конечное число операций.

В современных условиях алгоритмический подход к принятию решений находит практическое воплощение в системах поддержки принятия решений, обеспечивающих автоматизацию аналитических процедур и оптимизацию процесса выбора на основе формализованных алгоритмов и математических моделей. В результате совокупность всех этих действий формирует окончательное решение R , которое можно рассматривать как конечное множество знаний. Здесь знание представляет собой комплекс логических правил и данных, используемых на каждом этапе принятия решения.

Процесс принятия инвестиционного решения превращается в систематическую работу с информацией, где каждый фактор анализируется через призму установленных правил и алгоритмов, что в итоге приводит к формированию обоснованного и взвешенного решения. Зададим решение $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ в виде конечного множества, где n – его мощность, а A_n – различные знания. Каждое знание – фактор принятия решений: или количественный, формализованный по умолчанию, или неколичественный, потенциально формализуемый посредством применения возможностей нечеткой логики для построения устойчивых математических моделей. Концепция базируется на фундаментальной идее вариативности: компоненты, входящие в состав определённого множества, могут характеризоваться различной интенсивностью проявления общего признака, что, в свою очередь, обуславливает градацию их принадлежности к данному множеству. Иными словами, элементы, объединённые в единую группу благодаря наличию у них специфического качества, демонстрируют неоднородность в степени его выраженности. Это означает, что степень включения каждого элемента в состав множества не является константой, а варьируется в зависимости от количественной и качественной характеристики рассматриваемого свойства. Традиционная бинарная

модель принадлежности (элемент либо входит в множество, либо нет) заменяется на более сложную, градуированную систему, где каждый компонент занимает определённую позицию на шкале принадлежности в соответствии с уровнем развития у него ключевого признака.

Каждое знание A_n может быть подвергнуто сомнению (уверенности, достоверности) и скорректировано на момент значимости (важности, учитываемости фактора), а, значит, представимо в виде терма:

$$\langle A_n | C_n^k | I_n^l \rangle \quad (1)$$

где C_n^k и I_n^l – факторы достоверности и важности знания, соответственно, а k и l – соответственно, подмножества в рамках множества факторов n . Задача экспертов, привлекаемых к оценке этих параметров, сводится, в данном случае, к назначению весов и распределению параметров уверенности. Таким образом, решение $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ оказывается связным взвешенным графом, к которому, впрочем, неприменимы подходы к поиску оптимального пути.

При создании системы поддержки принятия инвестиционного решения и при проведении фазы формализации – 3-ей, после фаз идентификации и концептуализации (Поспелов Д.А.), то задача экспертов сводилась бы к наполнению базы знаний правилами $IF \rightarrow THEN$ и определению функции принадлежности: назначению числового эквивалента неколичественным факторам из диапазона $[0,1]$. Полученные таким образом правила, в первую очередь, отражают не точность результата, а его достоверность. Например

$$IF (\langle P_1 AND P_2 | 0.95 | 1 \rangle AND \langle P_3 \rangle) \rightarrow THEN \langle Q_1 | 0.9 | 0.8 \rangle \quad (2)$$

где P_1 : «ЦБ РФ снизит ставку рефинансирования на 0,5%», P_2 : «Без учета прочих факторов, котировка корпоративных бумаг компании, пользующейся коммерческим кредитом, вырастет», P_3 : «С учетом фактора дополнительных позитивных событий», Q_1 : «Рост будет более интенсивным».

Таким образом, привлечение экспертов при логико-лингвистического моделирования системы поддержки принятия инвестиционного решения является стратегической задачей, что во многом обусловлено сложностью формализации факторов принятия такого решения. Тогда, память эксперта заменяет ему структурированный исторический аппарат, приобретенные навыки – регламентированный инструментарий принятия решения, а интуиция – распределение коэффициентов уверенности.

Индивидуальная база знаний в этом случае может быть представлена в виде таблицы, где представлены множества факторов уверенности C_n^k и значимости I_n^l .

Таблица 1. Пример наполнения индивидуальной базы знаний с коэффициентами уверенности и значимости

Фактор	C_n^k	I_n^l
Изменение ставки рефинансирования	0,95	1
Низкий объем торгов	0,9	0,7
Интервенция (покупка / продажа колоссального числа однотипных бумаг)	0,9	1
Заявление о скором проведении размещения бумаг	0,95	0,8
Удачное размещение ценных бумаг	0,9	1

Индивидуальная база знаний представляет собой комплексный набор оценок достоверности и значимости различных правил и фактов. Эта система постоянно подвергается переоценке в связи с изменениями внешних факторов или новыми описаниями событий.

Усилим предложенную математическую модель.

а) Переменные и представления факторов

Такая система поддержки инвестиционных решений – это сочетание логического вывода и математической модели, основанной на нечетких правилах. Решение проходит этапы обработки: от оценки факторов (количественной и качественной) до объединения информации с учетом ее надежности и значимости.

Система обрабатывает много факторов, часть из которых измеряется числами (например, P/E , рост прибыли, долг или волатильность), а часть – это качественные показатели («доверие к руководству» или «состояние отрасли»). Для числовых факторов удобно использовать нормализованные значения (от нуля до единицы), чтобы использовать их в общей логике. Для качественных факторов применяются функции принадлежности нечетких множеств, определяющие, насколько ситуация соответствует описанию («низкий риск» или «высокая привлекательность»).

Каждое правило имеет вид «*IF* → *THEN*». В условной части – логическое сочетание факторов, а в заключении – прогноз или совет. Пример: «Если *P/E* (*Price-to-Earnings ratio*) низкий, рост прибыли положительный и риск невелик, то ожидаемая доходность высокая». Каждому условию присваивается степень истинности (от нуля до единицы), а затем эти условия объединяются. Получается общая мера срабатывания правила, показывающая соответствие данных предпосылкам.

В реальности правило не может быть абсолютно достоверным. Поэтому у каждого правила есть коэффициенты достоверности и важности. Достоверность показывает, насколько знание подтверждено данными или опытом, а важность – вес правила среди других. При расчете итогового вклада правило умножается на эти коэффициенты, поэтому даже при сильном срабатывании его влияние может быть небольшим, если достоверность или важность низкие.

Пусть система имеет n факторов принятия решений x_1, x_2, \dots, x_n . Для **количественных** факторов $x_i \in \mathbb{R}$ будем использовать нормализацию/шкалы (например, z-score или min-max). Обозначим нормализованные значения $\tilde{x}_i \in [0; 1]$. Для **качественных** факторов зададим нечеткие множества через функции принадлежности $\mu_i^A(x_i) \in [0; 1]$. Тогда общее решение R имеет вид *IF* A_{1i} AND A_{2i} AND... A_{ni} *THEN* R_j , где A_{ij} – знание на фактор i с правилом j – либо нечеткое множество, либо простое пороговое условие.

б) Вычисление степени срабатывания (активации) предиката правила

Для каждого фактора i с правилом j вычисляем степень соответствия $\mu_{ij} = \mu_{A_{ij}}(x_i) \in [0; 1]$. Если правило не использует фактор i , можно положить, что $\mu_{ij} = 1$. Объединение условий выполняется через выбранную t-норму (оператор AND). Существует два распространенных варианта развития модели:

- min-t-норма: $\alpha_j = \min_i \mu_{ij}$;
- произведение: $\alpha_j = \prod_i \mu_{ij}$.

Общий выбор t-нормы зависит от желаемой «жесткости» активации (min – более жесткая, произведение – градуальная).

с) Корректирующие коэффициенты (уверенность и важность)

Для каждого правила j задаем:

- коэффициент уверенности знания $C_n^j \in [0; 1]$ – насколько эксперт верит правилу;
- коэффициент важности правила $I_n^j \in [0; 1]$. В случае другой области определения следует использовать нормирование.

Тогда скомбинированная (скорректированная) активация:

$$\beta_j = \alpha_j * C_n^j * I_n^j. \quad (3)$$

д) Выход правила (следствие)

Можно использовать один из двух нечеткомножественных подходов:

Для количественной оценки инвестиции – **Sugeno**, как правило, имеет численный вывод в виде линейной функции факторов.

$$y_j = \alpha_{j0} + \sum_{i=1}^n \alpha_{jn} * x_i \quad (4)$$

Тогда агрегированный взвешенный итог:

$$S = \frac{\sum_j \beta_j y_j}{\sum_j \beta_j}, \quad (5)$$

где S – итоговый инвестиционный скор (например, в диапазоне $[0; 1]$ или в процентах ожидаемой доходности в год.

Mamdani – (более интерпретируемый, для оценки качественных факторов). Каждое правило дает нечеткое множество-вывод Y_j («покупать», «держат», «продавать»). Тогда агрегация по сумме:

$$\mu_{Y(y)} = \max_j (\beta_j * \mu_{Y_j}(y)) \quad (6)$$

Далее потребуется дефаззификация, чтобы получить численный

$$S = \frac{\int y \mu_{Y(y)} dy}{\int \mu_{Y(y)} dy} \quad (7)$$

Следует отметить, что подход Sugeno рекомендуется для обучения системы поддержки принятия решений параметрам α_{ij} и коэффициентам.

е) Учет риска

Принятие инвестиционного решения сопряжено с риском. Пусть для входных данных можно вычислить RiskScore $R \in [0; 1]$ (например, волатильность или Value-at-Risk). Тогда Risk-adjusted score:

$$S_{adj} = S - \lambda_{risk}R \quad (8)$$

где $\lambda_{risk} \geq 0$ – чувствительность к риску. Тогда:

- $S_{adj} \geq \tau_{buy}$ – «покупать»;
- $S_{adj} \leq \tau_{sell}$ – «продавать»;
- иначе – «держаться» (τ – пороги принимаемых решений).

ф) Обработка неопределенности

Чтобы дать оценку неопределенности, можно вычислить взвешенную дисперсию предсказаний правил:

$$\bar{y} = S, Var_y = \frac{\sum_j \beta_j (y_j - \bar{y})^2}{\sum_j \beta_j}, \quad (9)$$

где $\sqrt{Var_y}$ – «консенсус-неопределенность» между правилами.

г) Обновление и обучение коэффициентов

Параметры, которые можно обучать:

- коэффициенты α_{ij} у правил по подходу Sugeno;
- коэффициенты уверенности знания C_n^j и важности правила I_n^j (если правила нуждаются в калибровке);
- параметры функции принадлежности μ .

Целевая функция при наличии исторических меток (например, фактическая доходность t_k при наблюдении k) принимает вид:

$$L(\Theta) = \sum_k \ell(S^{(k)}(\Theta), t_k) + \lambda \|\Theta\|^2 \quad (10)$$

где ℓ – квадратичная ошибка или Huber-loss, Θ – вектор всех параметров. Обновлять можно градиентным спуском или L-BFGS, а для C_n^j и I_n^j можно использовать ограничение $\in [0; 1]$.

Таким образом, алгоритм оценки экспертного мнения сводится к простой инструкции:

- a) привести входы x_i к нормированному виду \tilde{x} и вычислить $\mu_{ij} = \mu_{A_{ij}}(x_i)$;
- b) для каждого правила j знания A_{ij} вычислить $\alpha_j = T(\{\mu_{ij}\})$;
- c) применить коррекцию $\beta_j = \alpha_j * C_n^j * I_n^j$;
- d) вычислить выход правила y_j ;
- e) агрегировать: $S = \frac{\sum_j \beta_j y_j}{\sum_j \beta_j}$;
- f) подкорректировать по риску: $S_{adj} = S - \lambda_{risk}R$;
- g) принять взвешенное решение по порогам τ ;
- h) вычислить Var_y для неопределенности, вернуть объяснение (по сути, топ-3 правила с наибольшим вкладом $\beta_j y_j$).

Особую сложность представляет ситуация конфликта между традиционным видением ситуации и новыми подходами, особенно в условиях неожиданных рыночных трендов при работе с привлеченными средствами. Например, когда возникает противоречие между желанием продать падающие в цене активы и ожиданиями отскока тренда, вынуждающими отложить сделку. В таких случаях эксперт сталкивается с серьезными внутренними вызовами, находясь между осознанным выбором и интуитивной переоценкой ситуации, что создает значительные риски для принятия решения.

Такой подход требует углубленного анализа причинно-следственных связей, что может нарушать баланс между скоростью и качеством принимаемых решений.

Метаправила формируют особую систему, определяющую методы использования и условия формирования обычных правил. Метаправила – привилегированные «надсценарии», устанавливающие приоритеты выполнения сценариев и определяющие ограничения и исключения,

формируя, таким образом, многоуровневую структуру принятия решений с отдельным воздействием каждого уровня на результат. Механизм логического вывода, в таком случае, оказывается ориентированным путем, пронизывающим эту многоуровневую структуру.

Вся совокупность информации, которой владеет эксперт – описания, элементы и данные – играет двойственную роль в процессе принятия решений. С одной стороны, она служит ключевым фактором для формирования окончательного решения, а с другой – становится основой для пересмотра и совершенствования собственной базы знаний, то есть обучения. Несмотря на неформализованный характер многих элементов, их присутствие создает фундаментальную базу и необходимые предпосылки для разработки интеллектуальных информационных систем поддержки инвестиционных решений.

Современный этап развития информационных технологий устанавливает высокие стандарты для прикладного программного обеспечения, включая системы поддержки принятия решений. Однако, несмотря на наличие квалифицированных экспертов в данной области, стремительное развитие технологий и растущий потенциал интеллектуальных информационных систем, процесс принятия инвестиционных решений по-прежнему сохраняет индивидуальный характер. Это говорит о том, что, хотя технологии значительно расширяют возможности эксперта, окончательное решение все еще остается в зоне ответственности человека, принимающего решения.

Хотя технологический прогресс создает прочную основу для автоматизации процессов принятия решений, человеческий фактор продолжает играть определяющую роль в этом процессе.

3. Роль экспертной оценки при логико-лингвистического моделирования системы поддержки принятия инвестиционного решения

Порассуждаем о роли экспертной оценки при логико-лингвистического моделирования системы поддержки принятия инвестиционного решения. Логико-лингвистическая модель может быть описана основными принципами теории нечетких множеств, бережно спроецированными на инвестиционную плоскость. Настоящий раздел посвящен описанию возможности формализации качественных факторов принятия инвестиционного решения с целью создания интеллектуальной информационной системы также на основе правил взаимодействия этих факторов, экспертных знаний и оценок.

Допустим результатом анализа множества факторов A_n , как количественных, так и качественных, оказывающих на него непосредственное влияние, различной информации любой степени достоверности является инвестиционное решение $R(A)$.

Инвестиционные решения существенно отличаются от оценки отдельных инвестиционных проектов. Их специфика определяется двумя ключевыми факторами: высокой ликвидностью фондов, что требует систематического принятия решений, и значительным уровнем рисков, обуславливающим необходимость тщательного обдумывания каждого шага. Процесс принятия решений строится на сравнении количественных и качественных факторов из определенного множества с накопленной базой знаний. Это может реализовываться двумя путями:

- через структурированную корпоративную информационную систему;
- на основе личных предпочтений инвестора, которые часто выражаются в неформальных терминах вроде «дорого» или «стоит приобрести».

В современных условиях процесс принятия инвестиционных решений характеризуется высокой степенью регламентации, особенно в деятельности управляющих компаний. Это обусловлено несколькими факторами:

- наличием четко определенного набора правил и соответствий;
- обязательным наличием инструментов для оперативного реагирования на внешние изменения;
- наличием обширной базы исторических данных для технического анализа.

Важно отметить, что используемый набор правил всегда:

- утвержден официально;
- имеет конечное количество;
- строго регламентирован.

Такая строгость регламентации необходима для минимизации рисков при работе с привлеченными средствами. При этом процесс принятия решений всегда завершается конкретным результатом — положительным или отрицательным, что подтверждает конечность множества влияющих факторов. Современные методы анализа позволяют формализовать практически любой фактор через применение стандартных расчетных формул. Это особенно важно при проведении фундаментального анализа, где

каждый фактор должен быть четко определен и обоснован для принятия взвешенного инвестиционного решения.

Моделирование системы поддержки принятия решений предполагает создание некоторого количества конечных множеств количественных и не количественных факторов.

Привлекательность обыкновенных финансовых бумаг для инвесторов объясняется простотой и относительной ясностью действия этого инвестиционного инструмента. Проблема сводится именно к тому, чтобы найти бумаги, гарантирующие такую прибыль, на которую инвестор рассчитывал. Таким образом, частный случай фундаментального анализа основан на убеждении в том, что на стоимость корпоративного фонда влияет эффективность функционирования компании. Если перспективы компании выглядят стабильными, и если окружающая обстановка благоприятна для финансовой деятельности, то можно ожидать стремительный рост фондов, а, следовательно подтверждается факт эффективного использования. Однако стоимость фонда зависит не только от его вероятной доходности, но и, например, от размера риска. Фундаментальный анализ позволяет охватить эти проблемные зоны.

Следует отметить, что финансовое состояние предприятия является важнейшим фактором, влияющим на его инвестиционную привлекательность, и, поэтому, анализ финансового состояния является наиболее значимым для инвесторов, как обобщающий показатель деятельности предприятия – поставщика выверенного датасета для фундаментального анализа.

Фундаментальный анализ в современной инвестиционной практике опирается на четко определенную систему ключевых показателей, которые играют решающую роль при принятии инвестиционных решений. Эти показатели можно разделить на следующие основные группы:

- коэффициенты ликвидности – отражают способность компании своевременно и в полном объеме выполнять свои финансовые обязательства, показывая достаточность у предприятия оборотных средств;
- показатели деловой активности – демонстрируют эффективность использования компанией своих активов и ресурсов, включая скорость оборота различных видов активов и обязательств;
- коэффициенты финансовой зависимости (финансового рычага) – характеризуют структуру капитала компании и ее зависимость от заемных источников финансирования, что важно для оценки финансовой устойчивости;
- показатели прибыльности (рентабельности) – демонстрируют способность компании генерировать прибыль относительно различных баз (активов, продаж, собственного капитала);
- рыночные показатели – особенно значимы при первичном размещении ценных бумаг (ИПО), так как помогают оценить положение компании на рынке, ее капитализацию и инвестиционную привлекательность.

Все эти показатели в совокупности формируют комплексную картину финансового состояния компании и ее перспектив развития, что позволяет инвесторам принимать взвешенные решения о вложении средств. При этом важно учитывать, что каждый показатель должен анализироваться не изолированно, а в контексте общей финансовой картины и динамики развития компании.

Представленный набор финансовых показателей обеспечивает всестороннюю оценку деятельности компании, включая период размещения ее ценных бумаг. Благодаря четко определенным методикам расчета этих коэффициентов, аналитики управляющих компаний получают мощный инструмент для проведения аналитической работы.

Процесс анализа строится на следующих принципах:

- сравнение текущих показателей с историческими данными;
- выявление тенденций развития компании;
- учет внешних факторов влияния;
- формирование прогнозных значений на предстоящий период.

Однако важно отметить существенную особенность: технический анализ, который базируется преимущественно на изучении исторических данных и событий, не всегда способен обеспечить достоверный инвестиционный прогноз. Это обусловлено несколькими факторами:

- нелинейность рыночных процессов;
- влияние неучтенных внешних факторов;
- возможность возникновения нестандартных ситуаций;
- изменение рыночной конъюнктуры.

Несмотря на высокую информативность финансовых показателей и развитые методы их анализа, процесс прогнозирования остается сложной задачей, требующей комплексного подхода и учета

множества переменных. Это подчеркивает необходимость сочетания различных методов анализа и постоянного совершенствования методик оценки инвестиционных возможностей.

При принятии во внимание каждого фактора фактически происходит следующее: следование определенному алгоритму соответствий и правил, ориентация на определенную предметную область – в данном случае – инвестиционные фонды, и формирование результата сравнения, а как совокупности результатов – общего решения R . Исходя из чего, эти описанные действия можно представить в виде знаний, поскольку на каждом этапе выполняются все указанные условия. Тогда решение R – конечное множество знаний, где знание – совокупность логических правил и данных.

Для рассмотрения множества его необходимо задать, что может быть сделано разными способами:

- перечислив элементы конечного множества, например множество знаний $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$;
- задав некую порождающую процедуру (индукцию), определяющую способ получения элементов множества из уже полученных элементов;
- указав свойства элементов для определения их принадлежности данному множеству;
- указав формулу, по которой можно получить множество из других множеств с помощью алгебраических операций над ними;
- или задав универсальное множество U (универсум), которое будет являться областью определений множества знаний, особенно если для формализации качественных знаний решено использовать принципы нечетких множеств.

Напомним, что основной задачей нечеткой логики является формализация нечетких понятий путем построения математических моделей для описания качественных характеристик. Это позволяет осуществлять количественную оценку лингвистических переменных и создавать формальные системы для работы с неточными данными, моделировать неопределенные и малоформализуемые ситуации, учитывать размытость входных параметров, анализировать нечеткие зависимости между переменными и осуществлять прогнозирование результатов в условиях неполной информации.

Пусть некоторое нечеткое знание A_n – это множество значений универсума U , такое, что каждому его значению поставлена в соответствие степень принадлежности этого значения множеству A_n . Пусть также $\mu: U \rightarrow [0,1]$ – функция принадлежности, определяемое, как отображение. Например, множество «Стоимость ценной бумаги, оптимальная для покупки в данный момент времени» содержит элементы типа «\$42,85», которые можно соотнести к этому множеству знаний A_n в рамках функции принадлежности μ . Установим массив лингвистических переменных, которые выступают в роли фундаментальной основы для построения всей архитектуры системы. Ключевым аспектом формализации является установление четких алгоритмов, регламентирующих взаимосвязь между упомянутыми переменными и соответствующими им множествами, характеризующимися неопределенностью. При этом важно обеспечить полное соответствие между структурой этих множеств и предопределенным универсальным набором возможных значений U . Такое правило, по сути – нечеткое высказывание по онтологической форме « a имеет свойство b » или « a осуществляет действие b », например, такие малоформализуемые конструкции, как «уровень капитализации высок» или «стоимость активов снизилась».

Важно отметить, что нечеткое высказывание может быть нагружена модификаторами, например – «очень», «в достаточной степени» или «слишком», значительно раздвигая, таким образом, возможности создаваемой системы поддержки принятия инвестиционного решения в плане реакций на внешние факторы.

В архитектуре современных интеллектуальных систем правила выступают в роли базовых строительных блоков, располагаясь на иерархической лестнице ниже комплексных знаний. Их отличительная черта заключается в способности интегрировать разнообразные по сложности нечеткие утверждения, используя операторы AND, OR, XOR а также связку антецедента и консеквента $IF \rightarrow THEN$, и формируя тем самым гибкую структуру принятия решений. Логическая структура правил формируется на основе профессиональных компетенций аналитика, без привязки к внешним информационным потокам. Это создаёт определенную автономность в процессе построения логических связей между лингвистическими параметрами.

Особую роль играет модификационный компонент, предоставляющий эксперту широкие возможности для тонкой настройки реакции системы на различные факторы инвестиционного процесса. Примечательно, что в современных системах значительная часть категориальных групп оперирует нечеткими определениями. При этом экспертные оценки часто содержат элементы субъективности и оценочности, что естественным образом приводит к необходимости перехода от классических к нечетким формам представления знаний

Имеем экспертное «правило»:

$$A = \text{IF } (\omega_1\mu_1(u)U_1 \text{ AND } \omega_2\mu_2(u)U_2 \text{ AND } \omega_3\mu_3(u)U_3 \text{ OR } \omega_4\mu_4(u)U_4) \text{ THEN } R \quad (11)$$

где ω – лингвистическая переменная; $\mu(u)$ – функция принадлежности; U – область определения $\mu(u)$, универсум; n – количество высказываний, в т.ч. и итоговое.

Учитывая, что величина n может быть сколь угодно большой, а функция принадлежности в состоянии выразить достаточное количество оттенков, множеством $R = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, где n – число знаний, можно фактически выразить любое решение. Роль эксперта в данном случае сводится к определению величин n , U_n и $\mu_n(u)$ для каждого A_n , а также расставить логические соответствия. Другими словами, с помощью естественно-языковых высказываний-правил $IF \rightarrow THEN$, с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно отразить произвольную взаимосвязь “входы-выход” без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемого в управлении и идентификации.

Бурное развитие нечетких систем управления обусловлено их значительными преимуществами в современных условиях. Ключевыми факторами популярности этой технологии являются простота и экономическая эффективность их разработки, что привлекает все больше проектировщиков к их использованию.

Сегодня системы на основе нечеткой логики успешно применяются в разнообразных сферах: от управления технологическими процессами и транспортом до медицинской и технической диагностики, финансового менеджмента, биржевого прогнозирования и распознавания образов. Практическое применение показывает, что разработка систем нечеткого логического вывода требует существенно меньше времени и ресурсов по сравнению с использованием традиционных математических методов, при этом сохраняется необходимый уровень прозрачности моделей. Особенно важно, что многие современные задачи управления, которые невозможно решить классическими методами из-за чрезмерной сложности математических моделей, успешно решаются с помощью нечеткой логики.

Теория нечетких множеств существенно расширяет возможности анализа данных, полученных опытным путем. Она позволяет работать с неоднородными и неполными выборками, которые классическая теория вероятностей не может эффективно обрабатывать. В рамках нечеткой логики появляется возможность структурировать неопределенность, превращая ее из простого фактора в каноническую часть модели. При этом учитываются субъективные оценки экспертов, которые получают формальное описание. Законы, выраженные в нечеткой или нечетко-вероятностной форме, представляют собой синтез объективных и субъективных моделей, что позволяет эффективно использовать экспертный опыт.

Особого внимания заслуживает проблема применения вероятностных методов в экономике. Многие экономические модели опираются на упрощенные представления о вероятностных гипотезах, не требующих строгого статистического подтверждения. Категория квазистатистики предлагает новый подход к оценке правдоподобия гипотез, учитывающий субъективное доверие эксперта к полученным результатам. Это позволяет более реалистично оценивать экономические явления и процессы.

4. Заключение

Система поддержки принятия решения, как яркий пример класса интеллектуальных информационных решений, все еще лишен самостоятельности, автономности и выполняет незавидную роль быстрого логического калькулятора. Только эксперт может запустить логический вывод, и только он может оценить его качество и адекватность.

Тем не менее, сознание эксперта, узость его экспертизы в рамках конкретной задачи обуславливает *финитность* количества факторов принятия решений, как количественных, так и качественных. Одновременно с этим, конечное количество факторов и стандартизация принятия решений приводит к тому, что его сценарии – потенциально формализуемы, а вся сложность и неоднозначность квантификации качественных факторов, зачастую, устранима с помощью возможностей нечеткой логики.

В связи с этим роль эксперта для логико-лингвистического моделирования, подобно принципам деизма у религиоведов, сужается до алгоритмического упорядочивания и «вдохновителя жизни» системы поддержки принятия инвестиционного решения.

Литература

1. *Li Z., Zhang Z.* Modeling personalized individual semantics in multicriteria decision making with incomplete linguistic preference relations: A preference disaggregation perspective // *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.* 2025. – Т. 55, № 1. – С. 390–403.
2. *Shi, M.; Zhang, J.* A Novel Approach for Multi-Criteria Decision-Making Problem with Linguistic q-Rung Orthopair Fuzzy Attribute Weight Information. *Symmetry* 2024. – 16. – 1641. DOI:10.3390/sym16121641
3. *Михайлова Е.С.* Логико-лингвистическая модель группового прецедента / Е.С. Михайлова // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2024)*. – 2025.
4. *Абросимов В.К., Михайлова Е.С.* Классификация прецедентов группового управления // *Информационно-управляющие системы*. – 2025. – № 2. – С. 27–36. DOI: 10.31799/1684-8853-2025-2-27-36.
5. *Михайлов В.В., Спесивцев А.В., Лайшев К.А., Спесивцев В.А.* Логико-лингвистическое моделирование популяционных систем на основе экспертных знаний // *Распределенные информационно-вычислительные ресурсы, наука – цифровой экономике*. – 2017. – С. 1–12.
6. *Дранко О.И., Смирнова О.О.* Индикативное планирование: инструменты моделирования // *Труды XIV. Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2024)*, 2024. – С. 3882–3886.
7. *Дранко О.И., Логиновский О.В., Шестаков А.А., Голлай А.В., Шинкарев А.А.* Эффективное управление организационными и производственными структурами. М.: ИНФРА-М, 2020. – 450 с.
8. *Осипов В.П., Гуртов В.А., Суханов С.Е.* Интеллектуальное ядро системы поддержки принятия решений // *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. – 2018. – № 205.
9. *Недосекин А.О.* Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. Монография. – Сезам, 2002.
10. *Журавлев А.Ю., Денисов С.Л.* Логико-лингвистическое моделирование процесса индивидуального принятия инвестиционного решения // *Вестник НТВ СПбГПУ. «Информатика. Телекоммуникации. Управление»*, 2008. – №6. – С.178–182.