

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
ИМЕНИ ПАТРИСА ЛУМУМБЫ»
(РУДН)

На правах рукописи

МЕРКУЛОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Научная специальность

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

РАЗУМНЫЙ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

доктор технических наук, профессор

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Анализ проблемы определения проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству	13
1.1. Анализ процесса предпроектной подготовки и определения технического облика многоквартирного жилого дома	13
1.2. Анализ методов моделирования для поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов	18
Постановка задачи поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов в условиях неопределённости.....	24
Выводы по главе 1.....	37
Глава 2. Основные положения методики поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов	33
2.1. Проектные характеристики многоквартирных жилых домов и основные соотношения между ними.....	33
Формализация знаний о проектных характеристиках многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству	38
Методика поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов	53
2.4. Анализ взаимозависимости между проектными характеристиками многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству и инженерной концепцией построения многоэтажных жилых зданий	55
Выводы по главе 2	67
Глава 3. Разработка интеллектуальной экспертной системы определения проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству и анализ полученных рациональных вариантов проектных характеристик	68
3.1. Описание разработанной интеллектуальной экспертной системы определения характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству	68
3.1.1. Общая структура интеллектуальной экспертной системы	68
3.1.2. Основные структурные блоки	72
3.1.3. Интерфейс программы	80
3.2. Анализ полученных рациональных вариантов проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству в сравнении с	

имеющимися аналогами	84
3.3. Анализ экономической эффективности применения разработанной интеллектуальной экспертной системы для определения характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству	86
Выводы по главе 3	91
Заключение	92
Список литературы	95
Список сокращений и условных обозначений	110
Приложение I. Расчётные показатели интенсивности использования жилых территорий и плотности населения на жилых территориях для застройки кластеров ИЖС и МЖС	111
Приложение II. Критерии и классификация типов новостроек	112
Приложение III. Зависимость параметров лифтов от параметров здания	114
Приложение IV Нормируемая продолжительность суммарной инсоляции	115
Приложение V. Рекомендуемые значения плотности застройки	116
Приложение VI. Гигиеническая классификация продолжительности инсоляции	117
Приложение VII. Определение среднегодовой инсоляции в часах в зависимости от расположения и ориентации оси окна жилого помещения	118
Приложение VIII. Определение ориентации оси окна жилого помещения для выполнения гигиенических требований по обеспечению инсоляции	119
Приложение IX. Оценка категории состояния зданий по внешним признакам по результатам предварительного обследования	121
Приложение X. Структуры и переменные базы знаний	123
Приложение XI. Фрагменты исходного кода базы знаний	141
Приложение XII. Фрагменты исходного кода программного обеспечения	146

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация интенсивно модернизирует строительную отрасль для повышения её эффективности и конкурентоспособности. Государство предоставляет поддержку различным секторам строительной отрасли (инфраструктура, жилищное строительство, промышленность) через федеральные целевые программы и поощряет привлечение инвестиций, обеспечивая стабильность и устойчивость строительной отрасли. Правительство поддерживает развитие жилищного строительства через программы льготной ипотеки, что способствует увеличению объёмов строительства и созданию новых рабочих мест. По данным Росстата объём работ, выполненных по виду экономической деятельности "Строительство" в России, за последние годы увеличился почти в три раза. Были инвестированы средства в улучшение транспортной, энергетической и коммуникационной инфраструктуры.

Однако, представляется, что эти затраты могут быть не эффективными, так как допускаются ошибки при проектировании зданий, на стадии подготовки к строительству. В основном это инженерно-технические или управленческие ошибки, когда построенный многоквартирный жилой дом сдаётся с неверными характеристиками и подлежит сносу из-за допущенных нарушений. Чтобы свести эти ошибки к минимуму, важно иметь возможность решать задачу эффективного хранения и передачи экспертных знаний в строительной области. В этой связи разработка в этих целях автоматизированной интеллектуальной информационной системы поддержки принятия инженерных и инвестиционных решений в области строительства представляется весьма актуальной. Такая информационная система может позволить стабильно развивать и внедрять инженерно-технические решения, снижать экономические и производственные риски за счет повышения эффективности проектирования на стадии подготовки к строительству [1].

Таким образом, для того чтобы избежать негативных сценариев требуется разработка методов оптимизации характеристик проектного облика многоквартирных домов. В этой связи **исследования, направленные на создание интеллектуальной системы поддержки принятия инженерных решений при проектировании строительных объектов, на стадии подготовки к строительству являются актуальными.** Такие исследования требуют разработки математических алгоритмов для интеллектуализации процессов поддержки принятия решений в строительной области [2].

Об актуальности таких исследований свидетельствует появление и развитие концепции информационного моделирования зданий, которая стала активно применяться в последние десятилетия. Данная концепция позволяет строительным компаниям создавать цифровые модели зданий, которые содержат информацию о каждой его части, что упрощает проектирование и

позволяет прогнозировать процессы строительства.

В настоящее время искусственный интеллект и информационное моделирование проникают во все этапы жизненного цикла зданий. Важными остаются смежные вопросы организации систем электроснабжения в многоквартирных домах, поддержки принятия решений для управления рисками и инвестициями в строительство [3-13]. Интерес к использованию новых возможностей программного обеспечения для строительных инноваций продолжает расти. На рис. 1 приведены данные, полученные при анализе мер поддержки застройщиков, внедряющих технологии информационного моделирования на базе российского программного обеспечения (ПО) (по данным комиссии по цифровизации строительной отрасли и ЖКХ Общественного Совета при Минстрое России; в опросе принял участие 631 респондент). По данным Росстата, удельный вес организаций, использовавших за последние десять лет специальные программные средства для проектирования, выросло с 11,9 до 12,0. По этим данным 56% специалистов строительной отрасли готовы к переходу на российское ПО.



Рис. 1. Компании-застройщики, внедряющие технологии информационного моделирования на базе российского ПО

Анализ опыта применения экспертных систем в России и в мире. Экспертные системы (ЭС) являются направлением и инструментом ИИ и могут применяться как системы поддержки принятия инженерных решений [14-15]. Их, в частности, используют при автоматизации, анализе и предоставлении рекомендаций для решения профильных инженерных задач в строительстве

Как следует из анализа литературы, значительная часть экспертных систем для задач строительства основаны на математическом аппарате нечёткой логики и теории нечётких множеств. Инструментарий нечёткой логики является одним из приоритетных в решении задач разработки информационных технологий и интегрированных экспертных систем [54-70]. В частности, известна возможность принятия управленческих решений в бизнес среде на основе методов нечёткой логики [59].

В научной публикации [19] разработана нечёткая экспертная система диагностики повреждений строительных конструкций. В [1] обсуждают логическую структуру экспертной системы прогнозирования остаточных сроков службы конструкций. В работах [14-15] анализируют экспертные системы мониторинга линейной части магистральных газопроводов, а также развитие экспертных систем наземного и подземного строительства. Экспертные системы на базе нечёткой логики в строительстве рассмотрены в [22]. Вопросы проектирования экспертной системы оценки качества и технического состояния строительных объектов рассмотрены в [25].

В [21] дано обоснование структуры экспертной системы для решения задач проектирования подземных сооружений. Актуальные вопросы разработки экспертной системы оценки техногенного риска опасных производственных объектов рассмотрены в [20]. В [23] разработана информационная система «Геодезический контроль геометрических параметров в строительстве». В [24] представлен обзор экспертных систем в строительной сфере.

Интеллектуальные технологии играют важную роль в обследовании строительных конструкций и дефектоскопии зданий и сооружений [27-28]. Кроме того, эти системы внедряются для повышения эффективности обслуживания инженерных коммуникаций. В [29] рассматривается построение интеллектуальной системы автоматического мониторинга технического состояния строительных конструкций для определения состояния объектов с использованием комплекса конечно-элементного расчёта для прогнозирования технического состояния конструкций, находящихся в процессе строительства. Экспертные системы в проектировании и управлении строительством рассмотрены в [30]. Для управления разработкой стандарта по критерию допустимого риска в [31] была разработана соответствующая экспертная система.

Наблюдается рост числа публикаций, которые посвящены разработке и применению экспертных систем для задач строительства [32-53]. Значительное число публикаций по теме исследования представлено в иностранной литературе, где отмечена важная роль нечёткой логики и машинного обучения во многих приложениях строительной техники и управления [71-

Следует отметить, что наборы данных, собранные из разрозненных систем, могут использоваться для поддержки принятия обоснованных решений в изолированных и рассредоточенных частях производственного процесса. Например, ЭС используют для прогнозирования прочности на сжатие геополимерного бетона на основе летучей золы, что играет существенную роль в проектировании строительных сооружений с позиций материаловедения [168]. При разработке экспертных систем как метода искусственного интеллекта следует учитывать принципы системного программирования [26].

Таким образом, анализ литературы показывает, что существующие в настоящее время интеллектуальные информационные ресурсы не позволяют в полной мере поддерживать решения

а **Научная новизна исследования** заключается в постановке задачи разработки экспертной системы определения проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству с использованием математического аппарата, который детализируется до алгоритмов и реализован в виде набора прикладных программных инструментов. Впервые был применён аппарат нечёткого логического вывода в архитектуре многопрофильной экспертной системы поддержки принятия решений, включающий подсистемы расчёта инвестиционной привлекательности, количества лифтов и других проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству (всего было реализовано 13 специализированных экспертных модулей). Разработка способствует автоматизации получения численных решений, сбору и хранению экспертных знаний, а также повышению эффективности процессов проектирования и управления строительством.

д **Теоретическая значимость работы** состоит в разработке математических методов решения задачи определения проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству и обусловлена организацией архитектуры экспертной системы, объединяющей экспертные профили для оценки различных аспектов строительства, включая экономический и инженерно-технический анализ.

в **Практическая значимость** состоит в доведении разработанного математического аппарата до прототипа научного программного обеспечения, которое предназначено для решения расчётных задач проектирования многоквартирных жилых домов. Разработанная экспертно-аналитическая система обеспечивает поддержку принятия решений с возможностью интерпретации результатов на основе инструментария нечёткого логического вывода, что способствует принятию рациональных и обоснованных решений.

с **Объект исследования** – методы разработки интеллектуальных экспертных систем поддержки принятия решений в области строительства.

р **Предмет исследования** – применение нейросетевых алгоритмов для создания интеллектуальных экспертных систем по определению проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству.

т **Целью исследования** является повышение эффективности принимаемых решений по определению проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству на основе разработки и использования интеллектуальных экспертных систем.

ь Для достижения указанной цели исследование в работе проводится по *следующим направлениям (задачи исследования)*:

т

в

у

- разработка математических принципов определения инженерной концепции многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству, включая определение проектных характеристик, архитектуру базы знаний и разработку обобщённого алгоритма функционирования экспертной системы;
- решение задачи параметрической оптимизации технического облика многоквартирных жилых домов, включая идентификацию функций принадлежности и установление логических взаимосвязей между проектными характеристиками с обоснованием выбора полученных решений и анализом взаимозависимости входных и выходных параметров;
- разработка математических моделей расчёта инвестиционной привлекательности, параметров инсоляции, количества лифтов и других проектных характеристик многоквартирных жилых домов;
- разработка программной реализации интеллектуальной экспертной системы с графическим пользовательским интерфейсом на языке программирования высокого уровня;
- проведение исследований с помощью экспертной системы и анализ полученных результатов.

Личный вклад соискателя — непосредственное участие на всех этапах процесса, включая обзор литературы (100%), получение исходных данных (70%), научные эксперименты (90%), апробацию результатов исследования (70%), обработку и интерпретацию экспериментальных данных (100%), а также подготовку основных публикаций по выполненной работе (100%). Сбор экспертной информации для построения базы знаний разработанной экспертной системы был выполнен при участии автора (60%).

Положения, выносимые на защиту

1. Методика проектирования экспертной системы определения проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству, основанная на итерационной процедуре сбора информации из различных источников, включая ГОСТы, СНИПы, СанПиНы, данные ДЗЗ, научно-методическую литературу, опросы экспертов с формализацией собранных знаний в специализированной базе знаний.
2. Разработанная интеллектуальная экспертная система поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов, имеющая многомодульную архитектуру, состоящая из специализированных экспертных подсистем и системы управления базой знаний, реализованной на основе нечёткого алгоритма логического вывода Мамдани.
3. Разработанные экспертные модули, имеющие индивидуальные алгоритмы дефаззификации для гибкой настройки выходных значений экспертной системы, в том числе: по элементу с наибольшей степенью принадлежности – 4 модуля, по геометрической середине

множества – 1 модуль, по элементу с наименьшей степенью принадлежности – 2 модуля, по центру тяжести – 6 модулей.

4. Система поддержки принятия решений при посадке объекта капитального строительства на земельный участок, основанная на разработанных модулях расчёта количества этажей, количества лифтов и определения ориентации здания по сторонам света.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРЕДПРОЕКТНОЙ ПОДГОТОВКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Этап предпроектной подготовки является основой для дальнейшей реализации инвестиционно-строительного проекта. Успех строительства и ввода в эксплуатацию многоквартирных жилых домов зависит от качества выполнения этого этапа. В свою очередь, эффективность данного этапа зависит от компетентности и слаженности взаимодействия участников строительного проекта, рационального принятия решений и ряда других факторов. Таким образом, поиск рациональных вариантов планирования с точки зрения этапов предпроектной подготовки является весьма актуальной задачей.

Задача проектирования технического облика и проектных характеристик многоквартирных домов на стадии подготовки к строительству заключается в создании комфортного, безопасного и экологически чистого пространства для жизни и отдыха жителей. Определение проектных характеристик с учётом потребностей будущих жильцов (количество квартир, площадь помещений, планировка и др.) способствует созданию комфортного и функционального жилого пространства, отвечающего современным требованиям к качеству жизни (важно учесть потребности и предпочтения жильцов на стадии проектирования).

На этапе проектирования многоквартирного жилого дома определяется его технический облик, который представляет собой его концептуальную инженерную модель. Эта модель описывает задачи, структуру и основные проектные характеристики многоквартирного жилого дома. Модель здания должна учитывать основные элементы, определяющие соответствие объекта строительства поставленным целям и задачам. При этом определение технического облика должно осуществляться с учётом ограничений, накладываемых на строительный объект (стоимость, параметры участка постройки и др.), а также доступных ресурсов (финансовые, материальные, технические и т.д.).

В современных условиях глобализации и международного сотрудничества российские специалисты могут учитывать международные стандарты и практики проектирования, что способствует повышению эффективности принимаемых решений и конкурентоспособности проектов. Также привлекают специалистов и экспертов в области строительства и архитектуры

для оценки проектных решений, проверки соответствия требованиям и выявления возможных проблем.

Правительство РФ предпринимает меры для развития строительства, в том числе это льготное кредитование и модернизации объектов туристической инфраструктуры. Также поддерживается софинансирование строительства (реконструкции) объектов обеспечивающей инфраструктуры с длительным сроком окупаемости. Стратегия развития туризма в Российской Федерации на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 20 сентября 2019 года №2129-р.

Проектные характеристики должны соответствовать действующим законодательным актам, регулирующим градостроительную деятельность, нормам и правилам, способствуя безопасности и законности строительства. Правильно определённые проектные характеристики упрощают процесс получения разрешительных документов, включая проектную документацию и минимизируют риски задержек и отказов. Определение проектных характеристик на стадии подготовки позволяет выявить и устранить возможные ошибки и несоответствия на ранних этапах. Правильно определённые проектные характеристики позволяют заранее рассчитать затраты и риски, избежать перерасхода материалов и ресурсов. Кроме того, чёткое определение проектных характеристик помогает соблюдать сроки строительства и способствуют обеспечению качества строительства и долговечности зданий.

Проектирование многоквартирных жилых зданий ведут с учётом требований СНиП, ГОСТ, СП и других нормативных документов, регламентирующих параметры зданий, их элементов и конструкций. Учитывают правила землепользования и застройки, утверждённые на уровне муниципальных образований, которые определяют параметры разрешённого строительства в зависимости от зонирования территории. Применяют стандарты и нормы, устанавливающие требования к прочности, устойчивости, долговечности и другим характеристикам зданий.

Проектные характеристики, определяющие технический облик многоквартирных жилых домов, представляют собой комплекс факторов, влияющих на их визуальное и функциональное восприятие. К числу таких характеристик относятся¹:

- архитектурный стиль и дизайн фасада, которые формируют эстетическую идентичность здания и его интеграцию в городской ландшафт;
- тип здания: многосекционный, односекционный, башенный и т. д.
- этажность и высота здания, определяющие его пространственные характеристики и

архитектурную композицию;

- планировочные решения квартир, включая количество комнат, их площадь и конфигурацию;
- площадь и высота помещений: определение площадей жилых и нежилых помещений, высоты потолков.
- функциональные зоны, разделение на зоны отдыха, работы, хранения и т.д.
- выбор строительных материалов и технологий (кирпич, монолит, панель и др.).
- определение количества и типа лифтов, наличие эскалаторов;
- противопожарные перегородки и двери, обеспечение соответствия требованиям пожарной безопасности;
- разработка плана эвакуации и размещение эвакуационных выходов;
- проектирование с учётом сейсмических, ветровых и других нагрузок;
- определение количества и расположения парковочных мест;
- детские площадки и зоны отдыха, создание благоустроенных зон для детей и взрослых;
- коммерческие помещения, размещение коммерческих объектов на первых этажах или в подвалах;
- конструктивные материалы стен и перекрытий, обеспечивающие прочность, долговечность и энергоэффективность здания;
- теплоизоляционные и энергоэффективные решения, направленные на снижение эксплуатационных затрат и минимизацию экологического воздействия;
- планировка и наличие дополнительных пространств, таких как балконы, лоджии и террасы, способствующие улучшению качества жизни и расширению функциональных возможностей здания;
- инженерные системы, включая водоснабжение, отопление, вентиляцию и электроснабжение, обеспечивающие комфорт и безопасность проживания;
- доступная среда для маломобильных групп населения, что является аспектом социальной инклюзии и устойчивого развития;
- зелёные зоны и элементы ландшафтного дизайна на придомовой территории, улучшающие экологическую обстановку и эстетическое восприятие жилого комплекса;
- удалённость от других зданий и инфраструктурных объектов.

Задача определения технического облика многоквартирного жилого дома решается с помощью структурной и параметрической оптимизации. Структурная оптимизация технического облика многоквартирного жилого дома заключается в определении состава и взаимосвязи элементов проектируемого объекта строительства, а параметрическая – в выборе значений его параметров. Применительно к решаемой задаче структурная оптимизация включает определение

следующих характеристик:

- высота здания (количество этажей) многоквартирного жилого дома;
- число лифтов многоквартирного жилого дома;
- ориентирование многоквартирного жилого дома по сторонам света;
- определение индекса привлекательности строительства на основе параметров инженерных коммуникаций;
- определение инвестиционной привлекательности многоквартирного жилого здания.

При строительстве зданий основным документом является проект плана застройки площадки и рабочие чертежи строящегося дома. Входные данные должны учитывать параметры земельного участка, градостроительные характеристики (установленные в генплане города, правилах землепользования и застройки), проектные нормы инсоляции, отступы от существующих строений, высоту этажей, количество квартир на этаже, среднюю площадь квартир, и т.д.

Известны общие рекомендации о том, как правильно разместить дом на участке при строительстве. Наиболее важными являются правила соблюдения "красных линий", которые определяют минимальное расстояние от дома до улицы и проездов в соответствии с местными нормами и правилами (СНиП и СанПиН). Окна спален рекомендуется ориентировать на юг или юго-восток для получения максимального количества солнечного света; гостиные, столовые и другие общие помещения следует ориентировать на западную сторону дома. Однако, на этапе подготовки к строительству важно учитывать пожелания и требования заказчиков и инвесторов, которые могут влиять на выбор проектных характеристик и решений.

В последние годы интенсивно используют специализированные программы и системы автоматизированного проектирования (САПР) для расчёта и моделирования проектных решений и оптимизации параметров проектов. Часто применяют экспертные оценки, когда опытные специалисты в области проектирования и строительства оценивают проектные характеристики на основе своего опыта и знаний. Этот метод позволяет учесть множество факторов, которые сложно формализовать с помощью математических моделей или нормативных документов.

Также на практике применяют компьютерное моделирование, на основе математических моделей и алгоритмов производят расчёты, позволяющие определить проектные характеристики с учётом различных факторов (нагрузка на конструкции, теплоизоляция, звукоизоляция и т. д.). С помощью специализированных программ и систем автоматизированного проектирования можно создать модель многоквартирного жилого дома и провести анализ его характеристик в различных условиях. Существуют информационные системы и базы данных, содержащие информацию о проектных характеристиках многоквартирных жилых домов.

Машинное обучение² широко применяют во многих сферах строительства. Некоторые из основных методов применения машинного обучения основаны на классификации и кластеризации на основе признаков с целью распознавания групп схожих объектов без предварительных знаний о классах. Также широко применяются методы прогнозирования и регрессии, в т.ч. на основе исторических данных. Методы машинного обучения также применяют для анализа текстовых данных, автоматического перевода, синтеза и распознавания речи и других задач, связанных с обработкой естественного языка. Также методы машинного обучения широко применяют для создания персонализированных рекомендаций в рекомендательных информационных системах.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Под искусственным интеллектом часто понимают системы глубокого обучения, которые требуют значительных массивов обучающей выборки. Другой особенностью нейросетевых технологий является применение готовых языковых моделей. Такие модели обучены на больших массивах текстовых данных и могут использоваться как рекомендательные системы. Но в нейросетевых моделях возможны смысловые сбои, которые недопустимы в промышленных экспертных системах. Кроме того, существует проблема сбора репрезентативной выборки для обучения нейросетевых моделей. При этом, в настоящее время для решения проектных задач в области строительства используют методы машинного обучения. Примером является работа [194], где с помощью нейронной сети глубокого обучения строили трёхмерные модели зданий (рисунок 1.1).

Ещё одним примером данной технологии является проект с открытым исходным кодом [195], который совмещает инструменты параметрического моделирования, сценарии предварительной обработки данных и модели глубоких нейронных сетей и предоставляет техническую возможность дифференциации обобщённой немаркированной 3D-геометрии здания в виде информативных трёхмерных моделей, состоящих из высоко детализированных архитектурных компонент (крыш, окон, фасадов, стен, дымоходов и т.д.). Этот инструмент позволяет в автоматическом режиме сегментировать и детализировать трёхмерные модели зданий эффективнее и быстрее, чем с помощью традиционных и ручных программных средств. Пример работы системы для детализации модели зданий приведён на рис. 1.2.

2

Машинное обучение - это область искусственного интеллекта, которая изучает разработку алгоритмов и моделей, которые позволяют компьютерам извлекать знания из данных и принимать решения без явного программирования. В процессе машинного обучения компьютеры обучаются находить закономерности в данных и делать прогнозы или принимать решения на основе этих закономерностей.

Математическая формулировка задачи логического вывода может быть представлена следующим образом. Пусть задано множество фактов F и множество правил R . Каждый факт $f \in F$ может быть либо истинным ($f = \text{True}$) либо ложным ($f = \text{False}$). Каждое правило $r \in R$ определяет логическую связь между некоторыми фактами и имеет вид:

$$[r : (f_1 \wedge f_2 \wedge \dots \wedge f_n) \rightarrow f]$$

где $f_1, f_2, \dots, f_n$ – предпосылки правила, f – заключение правила. Целью является нахождение множества фактов F' , которые могут быть логически выведены из F при помощи правил R , что может быть сформулировано как поиск множества F' , такого что:

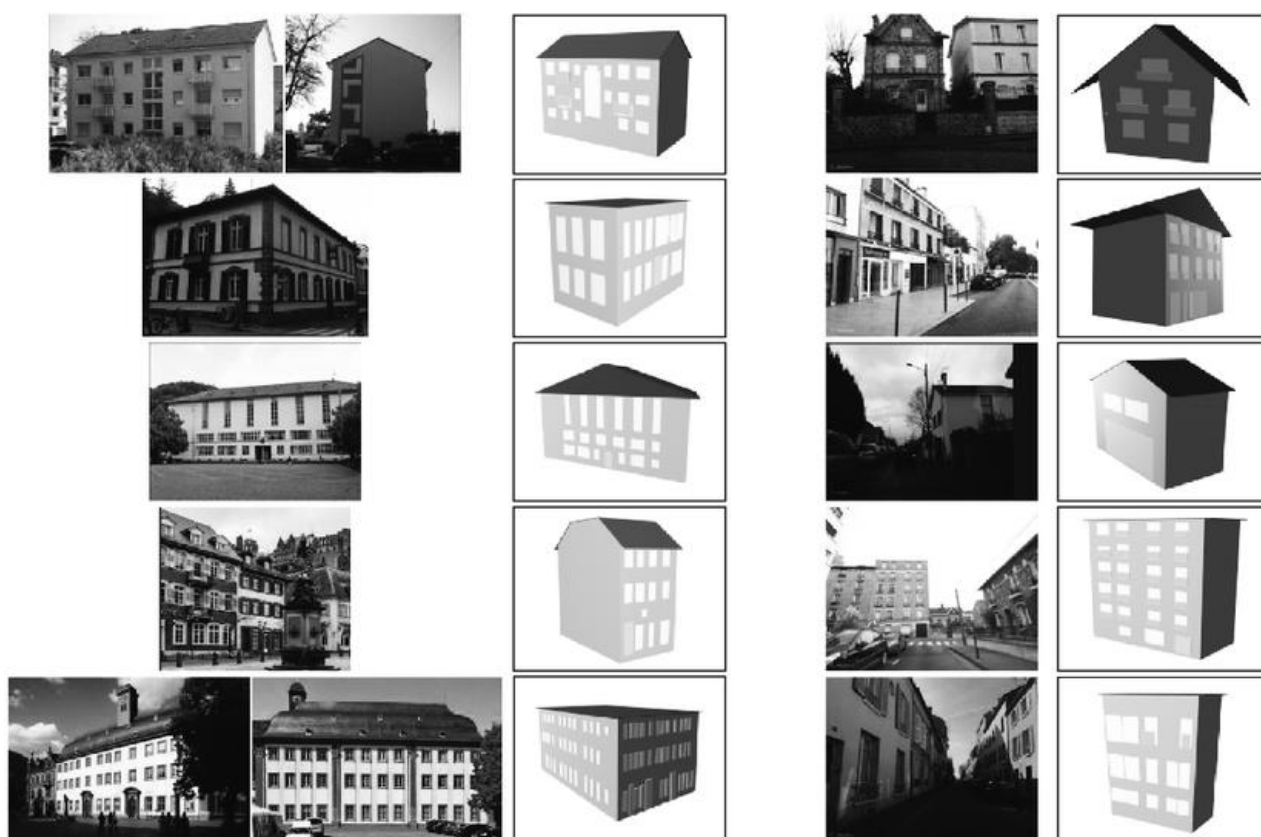


Рис. 1.1. Трёхмерные модели жилых зданий, полученные с помощью нейронной сети глубокого обучения. Рисунок заимствован из [194]



Рис. 1.2. Карта покрытия, показывающая масштабы городской модели Монреаля (слева) и пример воссозданного нейронной сетью одного городского фрагмента (справа). Рисунок заимствован из [195]

1. все факты из F также принадлежат F' ;
2. для каждого правила $r \in R$, если все предпосылки r истинны, то заключение r также принадлежит F' .

Формально:

$$[F' = f | f = \text{True и } f \text{ может быть выведен из } F \text{ при помощи правил } R]$$

Для проектирования строительства многоквартирных жилых домов задача логического вывода может быть сформулирована следующим образом. Математическая формулировка задачи логического вывода может быть представлена как поиск оптимального набора решений, который удовлетворяет всем ограничениям и требованиям. Пусть даны следующие параметры и ограничения.

1. Множество типов квартир $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, где каждый тип квартиры t_i характеризуется своими параметрами: площадь, количество комнат, стоимость и т.д.
2. Множество доступных материалов и ресурсов $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$, например, бетон, кирпич, стекло, сталь и т.д.
3. Множество ограничений и требований: бюджетные ограничения, требования к безопасности, стандарты строительства и т.д.

Целью является определение плана строительства, учитывая следующие условия.

1. Удовлетворение потребностей клиентов по типам квартир (например, определённое количество однокомнатных, двухкомнатных и т.д.).
2. Минимизация затрат, учитывая стоимость материалов, трудозатраты, стоимость аренды или покупки земли и т.д.
3. Соблюдение законодательных норм и стандартов, норм строительства, пожарной безопасности, энергоэффективности и т.д.
4. Максимизация прибыли или других целевых показателей.

В строительной отрасли всё чаще применяют технологию дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Эта технология представляет собой метод получения актуальных и точных данных с помощью спутниковых снимков, что позволяет проводить мониторинг, анализ и оценку о ходе строительных работ с высокой точностью и достоверностью. Спутниковые технологии используют для мониторинга строящихся объектов с целью определения динамики строительных работ, выявления нарушений и контроля соответствия регламенту. Кроме того, спутниковые снимки, сделанные с определённой периодичностью, позволяют получить достоверные данные о природных явлениях в данном регионе, таких как подтопления или засухи, а также о катаклизмах. Методы ДЗЗ сверхвысокой чёткости используют для мониторинга землепользования, планирования городов, экологического надзора и оценки последствий стихийных бедствий. Учёт этих данных позволяет минимизировать риски при принятии решений о строительстве на рассматриваемых территориях, будь то промышленные предприятия, объекты индивидуального или общего жилого строительства. Снимки ДЗЗ различных городов России приведены на рис. 1.3.

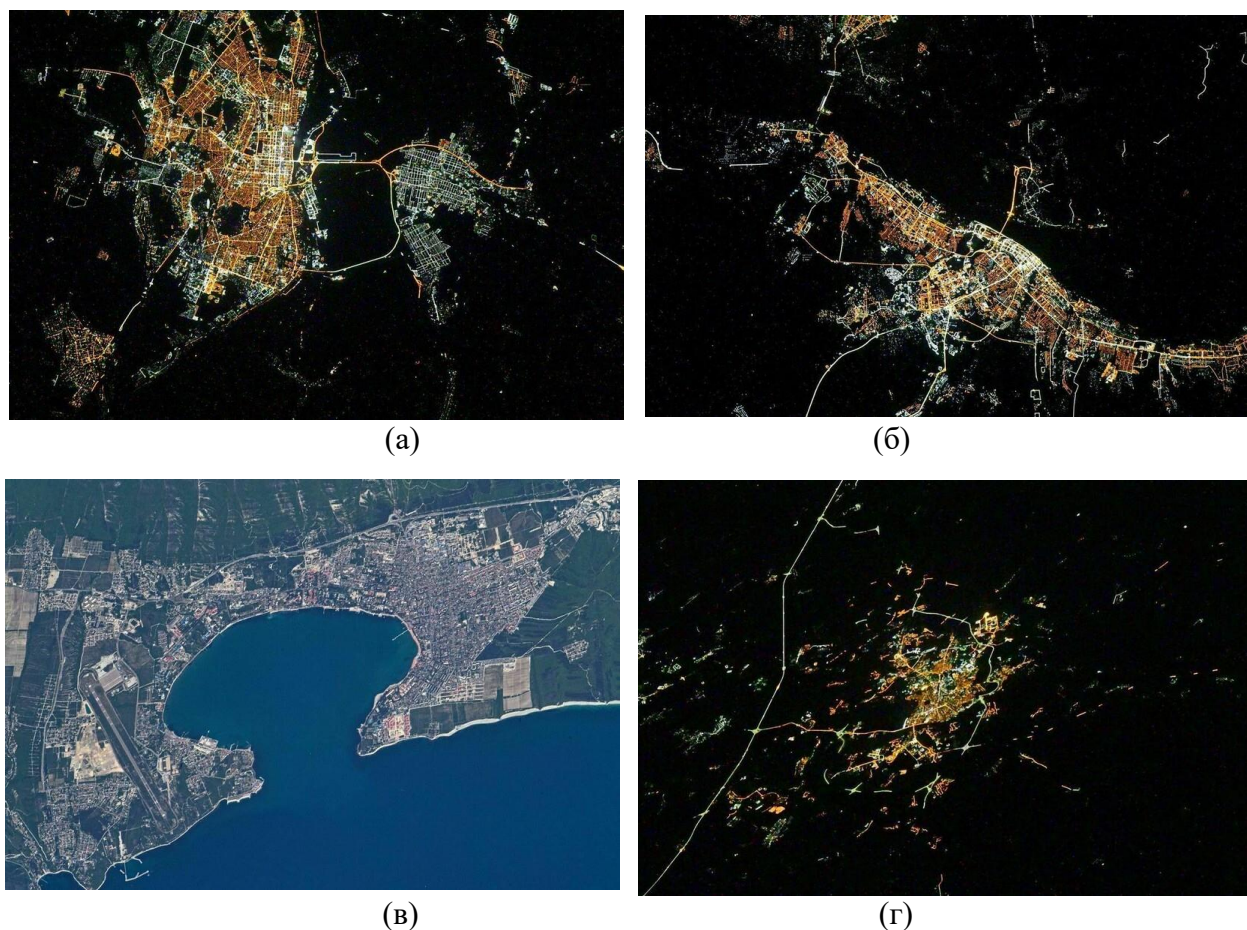


Рис. 1.3. Снимки ДЗЗ: Ростов-на-Дону в ночное время (а), Волгоград в ночное время (б), Геленджик в дневное время (в), Калуга в ночное время (г)

Анализ ДЗЗ осуществляют с помощью визуальных и автоматизированных методов. Доступ к спутниковым данным для выполнения прикладных задач регламентируется

законодательно. Спутниковые снимки стали незаменимым инструментом для оценки изменений в городах, предоставляя данные как о прошлом, так и о будущем развитии территорий.

Прогнозирование сценариев развития городской застройки играет ключевую роль в управлении городским планированием, позволяя учитывать пространственное распределение и влияние ряда антропогенных, природных и экономических факторов. Таким образом, технологии дистанционного зондирования Земли широко используют в строительстве.

Развитие спутниковых группировок, увеличение их численности и улучшение оптических методов дистанционного зондирования позволяют осуществлять мониторинг строящихся объектов, а также исследовать состояние окружающей среды в различных регионах страны. Это становится особенно актуальным в связи с развитием Арктического и Дальневосточного регионов по государственным программам «Арктический гектар» и «Дальневосточный гектар». В ближайшие десятилетия эти территории будут активно осваиваться, там будет развиваться туризм, рекреационные зоны, жилищное строительство. Для определения причин опасных природных процессов на Субарктической территории необходимо анализировать и сопредельные участки, которые по площади в значительной степени превышают размер территории, отведённой под технический объект. Строительная деятельность в районе распространения вечной мерзлоты требует индивидуального подхода при обустройстве конкретной территории.

Изучение оползневых процессов является одним из наиболее серьёзных аспектов, изучаемых при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Оползни нарушают устойчивость оснований и целых комплексов сооружений, поэтому оценка устойчивости склонов важнейшая задача. Наводнения наносят ущерб городам, затрудняя их развитие. Для улучшения защиты от наводнений необходимы точные модели оценки уязвимости.

Интеграция искусственного интеллекта с дистанционным зондированием открыла новый рубеж в извлечении и анализе пространственных данных. На сегодняшний день ДЗЗ находит применение в различных областях строительства, включая выявление дефектов и повреждения, контроль качества строительных работ и др. Для совершенствования методов и средств, используемых в строительной отрасли, требуется проведение исследований по оценке возможностей применения технологии ДЗЗ совместно с методами искусственного интеллекта (ИИ). Речь идёт о разработке прототипов интеллектуальных алгоритмов и методов поддержки принятия решений, функционирующих на основании спутниковых данных и экспертных знаний для оценки строительных проектов, планируемых к строительству как в рамках существующей инфраструктуры, так и в процессе освоения новых территорий при реализации государственных программ «Дальневосточный гектар» и «Арктический гектар».

На сегодняшний день известны разработки, в которых с помощью методов машинного обучения, нейронных сетей и искусственного интеллекта прибрежные территории морей и

океанов использовались для проектирования и строительства туристической инфраструктуры. Также по результатам дистанционного зондирования Земли с помощью искусственного интеллекта была автоматически спроектирована система трасс горнолыжных курортов. Спутниковые технологии дистанционного зондирования Земли полезны для отслеживания мешающих строений в городах и деревнях, на основе этих данных можно прогнозировать убыль или прирост населения в тех или иных регионах страны.

При проектировании инфраструктуры в новых регионах, а также на территории Арктики и Дальнего Востока можно применять разномасштабный подход, который учитывает различные объекты инфраструктуры, включая транспортные узлы, железные дороги, аэропорты на больших территориях, а также различные учреждения на малых территориях, такие как городские районы и округа.

Для поддержки принятия решений в этой области целесообразно использовать экспертные системы, методы искусственного интеллекта и инженерии знаний. Таким образом, для эффективного экономического планирования строительства на территории России и решения сопутствующих инженерных задач целесообразно использование методов дистанционного зондирования Земли совместно с автоматизированными методами поддержки принятия решений. К таким задачам можно отнести проектирование трасс, линий электроснабжения и газоснабжения, создание сопутствующих инфраструктур, проектирование нефтегазодобывающих предприятий в зависимости от местоположения перспективных зон для выработки природных ресурсов. Важным направлением является оценка и анализ инвестиционных рисков, а также рисков техногенных катастроф и природных катаклизмов для жилищной и промышленной инфраструктуры.

Экспертные системы и модели ИИ, основанные на данных ДЗЗ, классификаторах зданий, методах анализа транспортной активности и других факторов, способствуют принятию ключевых решений о выборе места строительства с оценкой рисков при планировании устойчивой городской инфраструктуры. Средства распознавания в ДЗЗ играют ключевую роль и основаны на алгоритмах обработки изображений для выделения объектов интереса и измерения их параметров, а также методы машинного обучения (классификация, регрессия, кластеризация и др.).

На практике часто используют специализированное программное обеспечение и инструменты для работы с метаданными для обработки снимков, создания карт и анализа данных ДЗЗ с информацией о времени съёмки, местоположении и др. В таких системах методы мультиспектрального анализа позволяют анализировать изображения в различных спектральных диапазонах, в то время как аналитические интеллектуальные системы включают модули, основанные на экспертных знаниях и статистическом анализе данных. Для выявления различных

закономерностей, распознавания и классификации строительных и других объектов эффективны нейронные сети, которые могут быть обучены на больших объёмах данных ДЗЗ. Интеллектуальные системы, обученные для распознавания образов и классификации объектов на изображениях ДЗЗ могут быть использованы для обнаружения строительных объектов, мониторинга их состояния и выявления различных аномалий. Системы компьютерного зрения определяют характеристики строительных объектов, размеры, формы и расположение зданий, что полезно для планирования застройки и управления строительными проектами. Специализированное программное обеспечение для обработки космических снимков, создания карт и анализа пространственных данных может быть использовано для создания интеллектуальных экспертных систем, планирования маршрутов и оптимизации логистики в строительстве.

Анализ существующих методов создания и опыта применения технологий ДЗЗ и ИИ в строительстве в отечественной и мировой практике дал следующие результаты. За последние десятилетия дистанционное зондирование все чаще используется в различных областях для повышения эффективности, точности и безопасности сбора данных в управлении строительством, ДЗЗ стало незаменимым для решения множества проблем в строительстве и гражданской инженерии. Исследования подчёркивают необходимость учёта геологических и сейсмических факторов при планировании инфраструктуры в сложных природных условиях. Например, инженерные сооружения, возводимые на нестабильных территориях, подвержены деформации и оседанию, особенно в горных районах, в то время как недостаточный учёт опасных геологических процессов может привести к удорожанию строительства и необходимости изменения генерального плана. Таким образом, для устойчивого развития городов необходимо сбалансированное проектирование, учитывающее природные условия и социально-экономические потребности.

1.3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

На этапе подготовки к строительству многоквартирных жилых домов ключевое значение имеет разработка предварительного технического облика здания. Этот этап включает в себя определение основных параметров и характеристик будущего здания, что позволяет определить требования к проекту, оптимизировать затраты и обеспечить соответствие нормативным стандартам. Этапы определения предварительного технического облика включают:

1. изучение требований законодательства, нормативных документов, анализ рынка и

потребностей потенциальных жильцов;

2. формирование предварительных идей и решений, основанных на собранных данных.
3. создание моделей для оценки внешнего вида и планировки здания;
4. использование специализированного программного обеспечения для расчёта основных параметров здания (прочность, устойчивость, энергоэффективность и др.);
5. привлечение специалистов для проверки проектных решений и выявления возможных проблем;
6. внесение изменений и уточнений на основе полученной обратной связи.

Для определения технического облика здания ключевым этапом является выбор параметров, которые наиболее точно соответствуют требованиям и условиям проекта. Выбор рациональных алгоритмов и методов — ключевой фактор проектирования технического облика здания. Рассмотрим основные методические принципы и подходы к этому процессу.

Комплексный подход к оценке характеристик здания предполагает учёт не одного, а множества параметров. Такой подход позволяет получать полное представление о строительном проекте, рассматривать здание как целостную систему, а не набор отдельных элементов. Комплексный анализ помогает обнаружить взаимосвязи между различными параметрами, которые могут быть упущены при рассмотрении отдельных характеристик, обеспечивать баланс между требованиями, учитывать как функциональные, так и экономические аспекты. Таким образом, комплексный подход к оценке параметров многоквартирного жилого здания позволяет создать проект, который будет соответствовать всем требованиям и ожиданиям, обеспечивая безопасность, комфорт и экономическую эффективность.

Интеллектуальные экспертные системы представляют собой программные комплексы, содержащие экспертные знания специалистов в определённых предметных областях и служат для тиражирования экспертных знаний и опыта при создании систем ИИ. Экспертные системы создают в результате идентификации проблемы и концептуализации на основе эмпирических знаний, полученных в результате опросов экспертов, сбора информации из различных источников, включая литературу, нормативную документацию ГОСТы и др. Экспертные системы в строительстве можно условно классифицировать по областям применения в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1.4.

На основе ЭС целесообразно создавать программные продукты и системы поддержки принятия решений для широкого круга инженерно-строительных задач. Экспертные системы — программные продукты, содержащие знания специалистов в определённых предметных областях. Они служат для тиражирования экспертных знаний и эмпирического опыта при создании систем поддержки принятия решений. В отличие от нейронных сетей, экспертные системы базируются не на статистических данных, а на знаниях. Следует отметить, что

существенным ограничением систем машинного обучения является необходимость наличия репрезентативной обучающей выборки. Данный недостаток отсутствует у метода экспертных систем (ЭС), функционирующих на основе эмпирического опыта и знаний экспертов. Искусственный интеллект успешно используется для расширения аналитических возможностей человека.



Рис. 1.4. Классификация экспертных систем в строительстве

Процесс принятия решений в строительной отрасли является одним из главных аспектов эффективного управления. В основе этого процесса лежит работа человеческого мозга, который анализирует множество факторов и опирается на логическое мышление экспертов. Математическое моделирование этого процесса с использованием строгих формул представляется сложной задачей, поскольку ясные и точные данные недостаточно полно описывают реальные жизненные ситуации.

Метод индукции используется для вывода общих правил на основе наблюдений и данных. Экспертная система, основанная на данном методе, анализирует данные и находит общие закономерности, которые могут быть использованы для принятия решений. Метод правил использует набор правил и фактов для вывода ответов на вопросы. Метод фреймов использует структурированные базы знаний, называемые фреймами, для представления информации и правил в экспертной системе.

Инструментарием для решения задачи определения характеристик технического облика многоквартирных домов на этапе подготовки к строительству являются методы инженерии знаний как набор методов и средств приобретения и формализации знаний (инженерия знаний изучает разработку способов представления знаний в экспертных системах и их использование для прикладных задач). Инженерия знаний — это область искусственного интеллекта, изучающая применение методов организации, сбора, анализа, представления, хранения и использования знаний в экспертных системах, которая включает в себя методы приобретения, структурирования, хранения, поиска, извлечения и применения знаний [193]. Одна из задач когнитолога (инженера по знаниям) — формализация знаний в том или иной модели представления знаний (продукционные, фреймовые, логические и др.) с последующей

постановкой задачи программистам. Таким образом, в процессе построения экспертной системы когнитолог взаимодействует с программистами, экспертами и другими источниками знаний для сбора информации и формирования базы знаний. Затем следует разработка базы знаний, включающая определение типов входных данных, возможные значения и взаимосвязи между переменными, а также методы представления знаний и логического вывода. Задачей когнитолога является приобретение и формализация знаний в том или ином формализме (логические, продукционные, фреймовые и другие модели представления знаний) с последующей постановкой задачи программистам.

Процесс разработки экспертной системы начинается с общения когнитолога с экспертами, чтобы перенять их опыт, знания и методы принятия решений. Наполнение базы знаний правилами логического вывода играет решающую роль в успешной реализации экспертной системы, поскольку точность и полнота базы знаний напрямую влияют на способность системы к анализу данных и принятию обоснованных решений. Для этого используют модуль наполнения правил, который представляет собой механизм систематизации, структурирования и внесения полученных знаний в экспертную систему.

Экспертные системы особенно актуальны на ранней стадии проектирования объектов строительства для минимизации рисков и максимизации экономической эффективности. Интеграция знаний экспертов позволяет учитывать суперпозицию многих факторов, которые не всегда очевидны на этапе подготовки к строительству. Например, применение экспертной системы для расчёта параметров лифтового оборудования позволяет организовать рациональное и эффективное использование пространства здания, уменьшить затраты на обслуживание и ремонт лифтов, повысить безопасность и комфортность использования здания. Также, экспертная система, основанная на знаниях, может быть привязана к заданным значениям инвестиционной привлекательности и объёмов инвестиций.

В инженерии знаний используют различные методы экспертных оценок для разработки экспертных систем. В частности, широко применяют различные экспертные игры, используют специальные карточки и т.п. Перечислим некоторые из них. Для сбора знаний известны различные методы экспертных оценок. В методе независимых оценок каждый эксперт даёт свою оценку без взаимодействия с другими участниками. Метод Дельфи заключается в том, что группа экспертов независимо друг от друга даёт свои оценки по определённому вопросу, после чего результаты агрегируются и эксперты могут пересмотреть свои ответы на основе анализа мнений других участников. Метод мозгового штурма – группа экспертов собирается вместе для коллективного обсуждения и оценки определённого вопроса. Метод определения диапазона — эксперты определяют верхнюю и нижнюю границы оценки, чтобы учесть неопределённость и изменчивость данных. Метод синтеза экспертных мнений – различные оценки экспертов

объединяются с использованием статистических методов для получения среднего или объединённого мнения.

Для создания экспертных интеллектуальных систем традиционно применяются средства логического вывода. Их можно разделить на несколько классов: системы логического вывода (индуктивные и дедуктивные), системы на основе нечёткой логики и гибридные модели, которые совмещают несколько классов одновременно.

Нечёткая и чёткая логики представляют собой два различных подхода к описанию и моделированию неопределённости в знаниях. Эти подходы могут использоваться для построения экспертных систем в строительной отрасли, сравнительный анализ чёткой и нечёткой логики при проектировании экспертных систем в строительстве приведён в таблице 1.1. Традиционный подход к оценке информации связан с булевой логикой и теорией принятия решений. Человеческое мышление организовано сложнее и учитывает способность обрабатывать неопределённость и нечёткость факторов. Так как эксперт оперирует правилами вывода, которые подчинены числовым закономерностям и законам логики, то в ИИ целесообразно использовать методы нечёткой логики.

Как показал анализ литературы, значительная часть экспертных систем, для задач строительства основана на математическом аппарате нечёткой логики [109, 136, 177 и др.]. Использование нечёткой логики при создании экспертных систем в строительной отрасли обосновано в связи с необходимостью учитывать высокий уровень неопределённости при обосновании решений, кроме того решения должны быть объяснимыми для заказчика или регулятора. Система продёржки принятия решений на основе нечеткой логики может предложить разумный компромисс между стоимостью, этажностью и инженерной оснащённостью на основе правил, заданных архитектором и урбанистом.

Кроме того, для инженерных изысканий строительных объектов характерны неклассические ситуации в постановке задачи, что связано со слабыми возможностями формализации сложных строительных систем. Принятие решений связано с проблемами нечётких данных, "лингвистических" свойств входных параметров и нечёткой формулировки технических условий.

Результаты сравнения способа формализации знаний экспертов (таблица 1.1.) позволяют сделать выбор в пользу аппарата нечеткой логики. Этот аппарат является более гибким по сравнению с традиционной (чёткой) логикой и позволяет строить многомерные функции поверхности отклика, которые в некотором смысле напоминают гиперповерхности, воспроизводимые нейронные сети в процессе обучения на обучающей выборке.

Методы машинного обучения так же не всегда можно применить при создании экспертных систем в сфере строительства, прежде всего, в связи с недостатком качественных

данных и сложностью интеграции с существующими процессами. В строительстве объяснимость решений крайне важна — особенно при согласовании с государственными органами. В таких условиях более предпочтительными являются мягкие методы моделирования, основанные на нечеткой математике. Сравнительный анализ нейросетевого метода и аппарата экспертных систем для определения технического облика и проектных характеристик многоквартирных жилых домов приведён в таблице 1.2. Следует отметить, что в некоторых случаях, гибридный подход позволяет создавать в достаточной мере эффективные решения, опираясь на преимущества обоих методов.

Экспертные системы на основе нечёткой логики оперируют лингвистическим переменными, каждая из которых имеет заданные функции принадлежности. В формализме нечёткой логики переменная может не только принадлежать или не принадлежать некоторому множеству, но и частично принадлежать в соответствии со своей функцией принадлежности. Например, переменная температура +10 градусов Цельсия может принадлежать множеству «тепло» с принадлежностью 65%, и множеству холодно с принадлежностью 20%. Нечёткий логический вывод [19, 22, 35, 54, 56, 57, 58-66] — метод, который используется в ЭС для вывода заключений на основе заданного набора правил или критериев. Логический вывод на основе нечётких множеств устойчив к шуму в данных и неточностям, так как оценивает информацию на основе формализованных экспертных знаний. Использование нечёткой логики в экспертных системах позволяет моделировать разнообразные сценарии, что способствует повышению эффективности и точности принимаемых решений. ЭС на основе нечёткой логики оперируют лингвистическим переменными [35].

Система поддержки принятия решений (СППР) — автоматизированная информационная система, которая предназначена для работы в неоднозначных, нечётких или сложных ситуациях. Системы поддержки принятия решений на основе нечёткой логики — это эффективный инструмент для задач, где: доминируют качественные оценки, важна интерпретируемость, данных мало, но есть экспертные знания. В строительстве и управлении проектами они позволяют структурировать неопределённость и принимать взвешенные, обоснованные решения, близкие к человеческому суждению.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ чёткой и нечёткой логики при проектировании экспертных систем в строительстве

	Чёткая логика	Нечёткая логика
Основные принципы	Работает с точными, дискретными значениями и правилами. Все знания и правила выражаются с использованием строго заданных условий и действий.	Позволяет работать с нечёткими или размытыми значениями, а также с нечёткими правилами. Предоставляет инструменты для описания неопределённости и нечёткости в данных.
Применение в экспертных	Правила вывода формулируются в явной, логической форме. Экспертная система	Правила и знания могут быть выражены на естественном языке. Экспертная система на

системах	способна принимать решения, когда знания и входные данные точно соответствуют заданным условиям. Хорошо работает в задачах, где правила и знания строго определены. Они просты в разработке и обеспечивают точность результатов.	основе нечёткой логики способна принимать решения, даже если данные размыты или неточны. Правила вывода могут обрабатывать сложные сценарии, где данные размыты и нечётки и подходят для задач, где экспертное знание может быть выражено с помощью лингвистических переменных и нечётких правил вывода.
Преимущества и ограничения	Простота в понимании и реализации, но не всегда есть способность учесть неопределённость и размытость в данных. Работает, когда задачи и правила строго определены.	Позволяет учитывать и обрабатывать нечёткость и размытость, что полезно в реальных ситуациях, где данные часто неточны. Может требовать более сложной инженерии знаний.

Базу знаний составляют правила, которые описывают логические связи между входными и выходными переменными в терминах "если-то". В каждом правиле до «то» содержатся предусловия, после — постусловия. Формальное представление базы знаний ЭС в виде набора правил приведено ниже.

Правило 1. Если «условие 1» и «условие 2» → «следствие 1».

Правило 2. Если «условие 2» и «условие 2» → «следствие 2».

...

Правило i. Если «условие i» и «условие i», → «следствие i».

Основными и наиболее распространёнными системами нечёткого логического вывода являются системы Мамдани и Сугено (TS - Takagi-Sugeno). Выбор между ними для построения экспертной системы зависит от конкретных требований экспертной системы. Алгоритм Sugeno [108,178] используют, когда имеются количественные данные или математические модели для выражения взаимосвязи между входными и выходными данными. Модель Sugeno может обрабатывать сложные отношения с меньшим количеством правил благодаря своей способности моделировать математические отношения. Однако, алгоритм Sugeno сложнее понять и интерпретировать. Следует отметить, что логический вывод может обеспечивать высокий уровень безопасности и конфиденциальности ЭС, так как он не требует хранения и использования больших объёмов данных, как это делают такие статистические методы, как нейронные сети. Также использование логического вывода позволяет создавать формальные спецификации для систем, что облегчает их верификацию и тестирование. Применение нечёткой логики в строительной отрасли позволяет учесть неопределённость информации. Это особенно полезно в ситуациях, где информация ограничена или неоднозначна (загруженность лифтов, освещённость и пр.). В контексте строительной отрасли нечёткая логика может использоваться для описания лингвистических переменных (количество этажей, площадь здания, материал, почва и др.).

Одним из ключевых этапов разработки ЭС на основе нечёткой логики является подбор и

определение входных и выходных лингвистических переменных и их функций принадлежности [35]. Функции принадлежности устанавливает соответствие между элементами универсального множества и числовыми значениями их степеней принадлежности некоторому новому множеству на отрезке $[0,1]$. Эти функции задаются в виде кривых, которые могут быть треугольными, трапециевидными, гауссовыми или иной формы, в зависимости от требуемых характеристик и решаемой задачи (см. пример на рис. 1.5). Над функциями принадлежности определены операции объединения и пересечения (рис. 1.6).

Операция объединения ($A \cup B$) нечётких множеств позволяет объединить два или более нечётких множества в одно. Операция объединения определяется как максимум функций принадлежности элементов в этих множествах. Результатом этой операции является новое нечёткое множество, которое включает в себя элементы, которые принадлежат хотя бы одному из исходных множеств.

Таблица 1.2 – Сравнительный анализ нейросетевого подхода и правил логического вывода при проектировании интеллектуальных систем для задач строительной области

	Нейросетевой подход	Правила логического вывода
Преимущества	Обучение на данных. Нейронные сети способны обучаться на больших объемах данных и автоматически извлекать закономерности, что делает их подходящими для решения задач, включающих сложные и нелинейные взаимосвязи. Универсальность. Нейросети могут решать разнообразные задачи, включая задачи классификации, регрессии, генерации, обработки естественного языка и многое другое. Способность к адаптации. Нейронные сети способны адаптироваться к изменяющимся данным и условиям без необходимости задания системы правил.	Интерпретируемость. Правила логического вывода легко интерпретировать и объяснить. Это делает их подходящими в задачах, где необходимо понимать, как система принимает решения. Предсказуемость. Экспертные системы, построенные на правилах, обычно имеют предсказуемое поведение, и изменения в БЗ могут быть внесены относительно легко посредством блока наполнения знаний.
Ограничения	Чёрный ящик. Нейронные сети могут быть сложными для интерпретации, их решения иногда могут казаться "черным ящиком", что делает их принятие решений менее прозрачным. Обучение требует данных. Для эффективного обучения нейронных сетей требуется массив данных, и в некоторых областях данных может быть недостаточно.	Сложность в формализации знаний. Построение правил и формализация знаний может быть трудной задачей, особенно в сложных сценариях. Ограниченная способность обучения. Правила логического вывода не способны обучаться на данных так же, как нейронные сети. Они зависят от ручного создания правил экспертами.
Области применения	Используется в задачах, требующих анализа больших объемов данных, распознавания образов, обработки естественного языка и в задачах, где закономерности сложно формализовать правилами.	Эффективны в сценариях, где важны прозрачность и интерпретируемость решений, а также в областях, где знания могут быть легко сформулированы в виде правил.

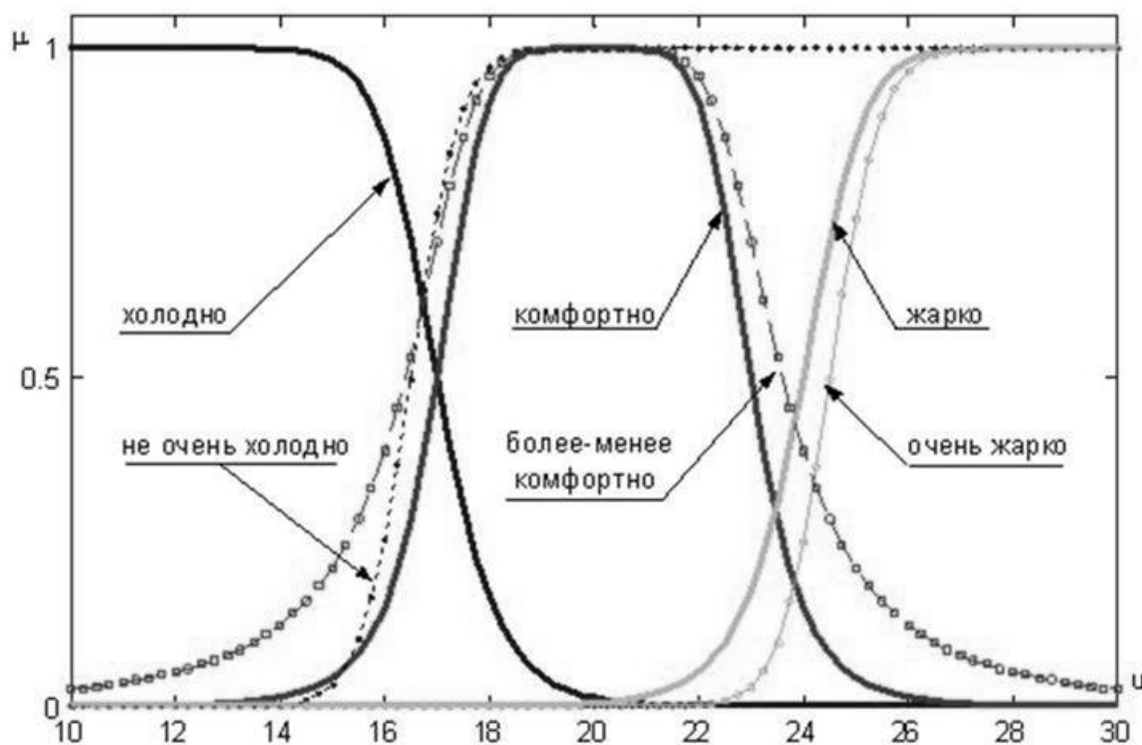
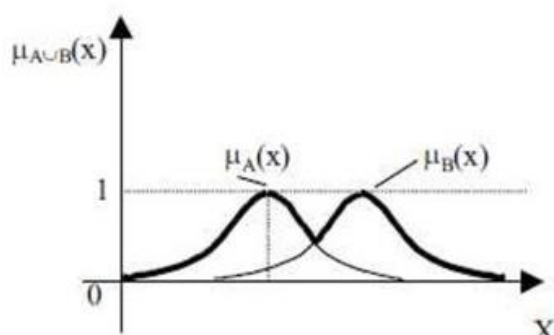
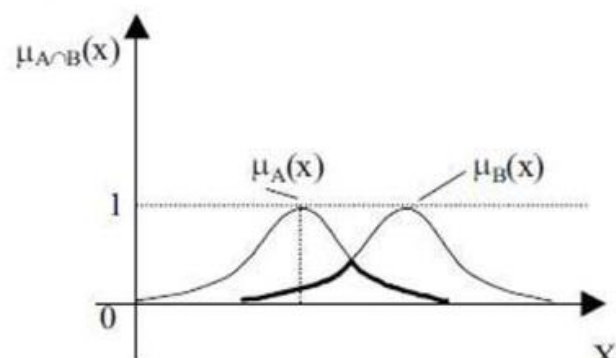


Рис. 1.5. Функции принадлежности лингвистической переменной «температура»

Пересечение нечётких множеств позволяет найти общие элементы между двумя или более нечёткими множествами. Эта операция используется, когда нужно определить, насколько элементы принадлежат всем указанным множествам. Результатом операции пересечения ($A \cap B$) является новое нечёткое множество.



(а)



(б)

Рис. 1.6. Операции над нечёткими множествами: объединение (а) и пересечение (б)

Нечёткий алгоритм Мамдани [107-109] обладает свойством интерпретируемости. Благодаря использованию теории нечётких множеств для формализации базы знаний этот алгоритм обладает устойчивостью к шумам по аналогии с нейронными сетями. Модель Мамдани обеспечивает интерпретируемость и прозрачность благодаря своей интуитивной и понятной

природе с лингвистическими переменными и правилами. Алгоритм Mamdani хорошо работает с экспертными знаниями или данными с неопределённостью. С точки зрения вычислительной эффективности алгоритм Mamdani, как правило, медленнее и дороже в вычислительном отношении из-за этапа дефаззификации. Алгоритм Сугено более эффективен в вычислительном отношении, особенно с моделями высокого порядка, поскольку для дефаззификации используется средневзвешенное значение.

Алгоритм Mamdani позволяет строить многомерные функции поверхности отклика, которые напоминают гиперповерхности, воспроизводимые нейронными сетями в процессе обучения. Одним из ключевых аспектов исследования является реконструкция этой функции. Пространство, в котором построена поверхность отклика, содержит числовые значения переменных (факторов). Функция поверхности отклика нечёткой ЭС отображает взаимозависимость n переменных переменных (факторов) в пространстве из n измерений (функция проецирует гиперповерхность в n -мерное пространство). Функция поверхности отклика позволяет настраивать работу ЭС, повышать её точность и прогностическую способность. Она является инструментом верификации ЭС и представляет собой графическое представление результатов функционирования модулей логического вывода [109]. Данная поверхность является многомерным объектом, для анализа которой целесообразно применять трёхмерные проекции.

Визуализация поверхностей отклика позволяет определять взаимосвязи между входными и выходными переменными и выработать рекомендации по настройке функционирования ЭС, включая семантическое наполнение базы знаний, определение форм кривых функций принадлежности, определение методов дефаззификации, а также настройку других параметров интеллектуальной системы.

Учитывая вышеизложенное, в качестве математической базы выдвигается аппарат нечёткой логики, который позволяет точно рассчитывать требуемые числовые параметры для построения модели. Важно отметить, что система искусственного интеллекта на базе нечёткой логики (алгоритм Mamadani [107-109]) не является «чёрным ящиком» как нейронная сеть, а содержит интерпретируемую и расширяемую базу экспертных знаний, делая инструментарий ЭС прозрачным и удобным, что является несомненным преимуществом метода. Таким образом, на основе сравнительного анализа для построения экспертной информационной системы целесообразно использовать алгоритм Mamdani, который является одним из наиболее распространённых и интуитивно понятных методов в нечёткой логике для систем поддержки принятия решений на основе исчисления правил и может быть адаптирован под структуру и специфику строительной предметной области.

Рассмотрим методы дефаззификации нечётких множеств. Дефаззификация — функция

преобразования нечёткого множества в точечное числовое значение. Ниже приведены основные методы дефаззификации. Каждый из этих методов имеет свои особенности и применяется в различных случаях в зависимости от задачи и технических требований.

Выбор метода дефаззификации зависит от конкретной проблемной области, базы знаний экспертной системы и требований к результатам нечёткого логического вывода. Иллюстрация к методам приведения к чёткости приведена на рис. 1.7.

- Центр тяжести (Center of Gravity, COG, Centroid): среднее взвешенное значение всех элементов, принадлежащих нечёткому множеству. Вес каждого элемента равен его степени принадлежности.
- Метод максимума (Max-Min Method): выбирается элемент с наибольшей степенью принадлежности к нечеткому множеству. Дефаззифицированное значение будет равно этому элементу.
- Метод взвешенного среднего (Weighted Average): каждый элемент, принадлежащий нечеткому множеству, взвешивается в соответствии с его степенью принадлежности, затем эти взвешенные значения усредняются.
- Метод квази-среднего (Modified Center of Sums, MCS): взвешенное среднее значения всех элементов, при этом вес каждого элемента определяется как сумма степеней принадлежности всех элементов, которые больше или равны данному элементу.
- Метод средней максимума максимума (Averaging the Maximum of Maximums, AMOM): вычисляются средние значения элементов с максимальной степенью принадлежности на каждой итерации, дефаззифицированное значение является результатом последней итерации.
- LOM (Largest of Maxima): выбирается элемент с наибольшей степенью принадлежности во множестве. Дефаззифицированное значение будет равно этому элементу.
- SOM (Smallest of Maxima): выбирается элемент с наименьшей степенью принадлежности во множестве. Дефаззифицированное значение будет равно этому элементу.
- Bisector: элемент, который делит нечеткое множество на две равные части (дефаззифицированное значение находится точно в середине множества).

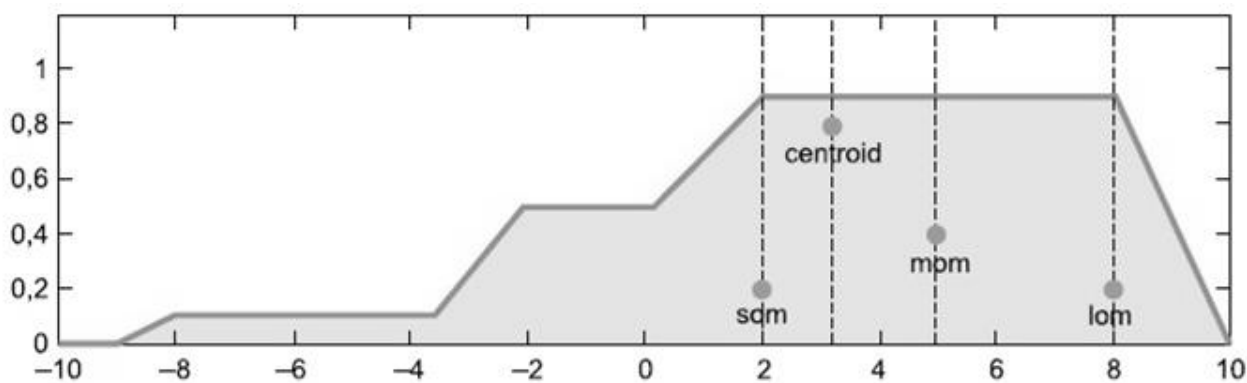


Рис. 1.7. Иллюстрация к методам приведения к чёткости: som, centroid, mom, lom

В процессе взаимодействия между параметрами производится активация правил, а затем агрегация выводов для получения решения. Дефазификация используется для получения конкретного числового значения, которое может быть использовано для принятия решений в области строительства. Экспертная система на основе нечёткой логики должна быть масштабируемой для пополнения баз знаний и улучшения качества принимаемых решений на основе эмпирического опыта и новых знаний.

При выборе языка программирования для разработки экспертной системы следует учитывать, что язык программирования Python является мощным и универсальным языком для реализации экспертных систем. Python является открытым программным обеспечением, может использоваться для различных задач, включая обработку данных, машинное обучение и разработку веб-приложений. Кроме того, Python имеет простой и понятный синтаксис, который облегчает разработку и рефакторинг программ, он позволяет быстро прототипировать и внедрять экспертные системы.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Проведен анализ процесса предпроектной подготовки и определения технического облика многоквартирного жилого дома и обоснована актуальность задачи выбора вариантов
2. Рассмотрены основные источники информации (публикации, ГОСТы, СанПиНы и пр.) для выявления правил и отобраны конкретные проблемные области для формирования специализированных баз знаний прототипа экспертной системы.
3. Проанализированы преимущества и недостатки методов машинного обучения и различных видов логического вывода в экспертных системах для определения технического облика и проектных характеристик многоквартирных жилых домов.
4. На основе сравнительного анализа различных способов формализации знаний сделан вывод о целесообразности применения теории нечётких множеств для организации процедур обработки и хранения знаний в экспертно-аналитических системах применительно к задачам поддержки принятия инженерных решений. Показаны основные различия и преимущества нечёткого логического вывода по сравнению с другими методами: учет качественных и неопределенных факторов; гибкость и адаптивность к изменяющимся условиям; прозрачность и интерпретируемость правил для инженеров и др.
5. Рассмотрены алгоритмы, реализующие процесс нечеткого вывода, и установлено, что использование технологии нечеткого вывода позволяет анализировать различные сценарии реализации проектных решений и формировать рекомендации для выбора оптимальных параметров на основе экспертных знаний и данных дистанционного зондирования различных регионов России.
6. Сформулирована математическая постановка задачи формирования проектных решений при проектировании многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству на основе нечеткой логики.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

2.1. ПРОЕКТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ И ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НИМИ

Определение входных и выходных параметров служит первоначальным этапом в формировании базы знаний, лежащей в основе экспертной системы. Эти данные систематизируются и адаптируются для использования логическим ядром экспертной системы. Текстовые документы, ГОСТы и стандарты содержат значительное количество информации, которая должна стать частью базы знаний, предоставляя экспертной системе набор ключевых факторов для анализа входной информации и выработки обоснованных управленческих решений.

В настоящем диссертационном исследовании обсуждён не конкретный технический облик всего дома, а предварительный, который в наибольшей степени влияет на качество и стоимость многоквартирного жилого дома. На начальном этапе проектирования и подготовки к строительству особое внимание уделяется идентификации и оценке основных факторов, влияющих на архитектурно-конструктивные решения и экономические показатели проекта. В частности, выделяются ключевые параметры, которые формируют базовые характеристики объекта и определяют его стоимость. На стадии подготовки к строительству необходимо выделить главные характеристики, которые в наибольшей степени характеризуют проект. Технические характеристики, которые характеризуют многоквартирные жилые дома (предварительный технический облик) включают: количество этажей; материал строительства (кирпич, монолит, панель и т.д.); тип конструктивных систем (несущие стены, каркас и т.п.); планировка квартир (количество комнат, площадь, расположение комнат и т.д.); высота потолков; инженерные системы (электроснабжение, водоснабжение, отопление, вентиляция, канализация); системы безопасности (противопожарные системы, системы контроля доступа и т.п.); наличие лифтов и мусоропроводов; теплоизоляция и звукоизоляция; энергоэффективность зданий (класс энергетической эффективности); расположение и тип фасада; наличие подземных парковок или гаражей; система управления зданием, диспетчеризация; наличие дополнительных элементов (балконы, лоджии, террасы); соответствие нормам и стандарта (санитарным, пожарным, строительными т. д.).

Технические характеристики, которые характеризуют многоквартирные жилые дома взаимосвязаны между собой. С увеличением этажности общая площадь здания возрастает, при

этом высота потолков и размер квартир могут варьироваться. Высота потолков может визуально увеличивать пространство и создавать ощущение свободы, но влияет на общую площадь квартиры. В домах с более просторными квартирами, как правило, строят меньшее количество квартир на этаже, так как количество квартир на этаже зависит от количества комнат в квартирах и их планировок. В свою очередь, планировка квартир может варьироваться от студий до многокомнатных квартир. Количество комнат влияет на общую площадь квартиры и её функциональность.

В многоэтажных домах наличие лифтов является обязательным условием для обеспечения доступности квартир на верхних этажах. Количество лифтов зависит от количества этажей и предполагаемой нагрузки. Эффективность системы отопления должна соответствовать климатическим условиям региона, в частности, в холодных регионах требуется более мощная система отопления. Хорошая теплоизоляция снижает энергозатраты на отопление и влияет на стоимость квартир. Современные многоквартирные дома оборудованы централизованными системами водоснабжения, канализации и электрификации. Для обеспечения комфорта жильцов в домах с большим количеством квартир на этаже требуется тщательная звукоизоляция. Звукоизоляция зависит от конструкции здания и используемых материалов. Наконец, наличие и уровень систем безопасности могут влиять на привлекательность здания для потенциальных жильцов и инвесторов.

Законодательство, нормы и рекомендации в области строительства постоянно совершенствуются, что обуславливает актуальность сбора и формализации актуальной информации. СНиП (строительные нормы и правила) являются основным документом, который регулирует строительство зданий в Российской Федерации. Они определяют требования к проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации зданий. В связи с тем, что регулирующие документы [181-183] носят строгий характер, то соответствующие подсистемы базы знаний целесообразно реализовать на чёткой логике. Расчётные показатели интенсивности использования жилых территорий и плотности населения на жилых территориях для застройки кластеров ИЖС и МЖС приведены в приложении I. Эти показатели целесообразно использовать для рекомендуемой оценки этажности зданий.

В качестве экспертной информации для построения базы знаний (БЗ) интеллектуальной системы для оценки инвестиционной привлекательности объектов жилой недвижимости были использованы рекомендательные данные о классификации типов жилья краснодарской строительной компании АСК [184] (приложение II). Нечёткая экспертная система, основанная на этих знаниях на выходе может быть привязана к заданным числовым значениям для оценки инвестиционной привлекательности, финансовых рисков, объёмов инвестиций и пр. На основе этой таблицы целесообразно создать БЗ, оперирующую следующими числовыми

характеристиками.

Район

- Удалённость от центра (км.)
- Удалённость от особенных природных зон (км)

До

- Количество квартир в доме: не ограничено, до 120, до 50
- Количество квартир на этаже: 6-8, 5-6, 4-5, 2-3

Квартира

- Средняя площадь однокомнатной квартиры: 25 м², 34 м², 50 м², 100 м²
- Средняя площадь комнаты: 10 м², 10-20 м², 30 м²
- Средняя площадь кухни: 8 м², 10 м², 14 м², 20 м²
- Высота потолков: от 2,7 м, от 2,75 м, от 3 м.

На выходе – оценка класса (эконом, комфорт, бизнес, премиум) и объём инвестиций, требуемый для строительства.

Количество и грузоподъёмность лифтов для жилых зданий назначается в соответствии с действующей нормативной документацией, согласно Приложения III Правила определения минимального числа лифтов в многоквартирном жилом здании СП 54.13330.2022 Здания жилые многоквартирные. При этом, согласно пункта 3, для частных случаев выбор, определение числа и параметров лифтов, устанавливаемых в жилых зданиях с целью обеспечения нормативного уровня обслуживания пользователей осуществляется согласно ГОСТ Р 52941-2008 Лифты пассажирские. Проектирование систем вертикального транспорта в жилых зданиях [185]. Расчёт вертикального транспорта осуществляется согласно приложения А к этому ГОСТу.

Был проведён анализ параметров по улучшению микроклимата помещений в соответствии с нормами инсоляции. Инсоляция – величина попадания солнечных лучей в помещение [186]. При планировке и застройке городских и сельских поселений следует учитывать климатические параметры в соответствии с СП 131.13330 Строительная климатология [187] и предусматривать мероприятия по улучшению микроклиматических условий поселений (защита от ветра, обеспечение проветривания территорий, оптимизация температурно-влажного режима путём озеленения и обводнения, рациональное использование солнечной радиации и др.).

Размещение и ориентация жилых и общественных зданий должны обеспечивать продолжительность инсоляции помещений и территорий в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076. Нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для помещений жилых и общественных зданий устанавливается дифференцированно в зависимости от типа квартир, функционального назначения помещений, планировочных зон города, географической широты: для северной зоны (севернее 58° с.ш.) - не менее 2,5 ч в день с 22 апреля по 22 августа;

для центральной зоны (58° с.ш. – 48° с.ш.) – не менее 2 ч в день с 22 марта по 22 сентября; для южной зоны (южнее 48° с.ш.) – не менее 1,5 ч в день с 22 февраля по 22 октября. Широты Российской Федерации находятся в диапазоне примерно от 41° до 82° с.ш. Таким образом, экспертная система по посадке здания в зависимости от параметров инсоляции позволяет вычислить направление оси здания для выполнения норм инсоляции.

Широты Российской Федерации находятся в диапазоне примерно от 41 до 82 градусов северной широты. При создании рекомендаций по посадке зданий следует учитывать нормы инсоляции, которые позволят принимать решения по ориентированию здания по сторонам света. Руководящий нормативный документ в данном вопросе: СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [188]. При этом, в условиях застройки возможна одноразовая прерывность инсоляции жилых помещений при условии увеличения суммарной продолжительности инсоляции в течение дня на 0,5 ч для каждой зоны соответственно. Таблица из СанПин 1.2.685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (данный СанПиН является действующим).

В приложении IV приведены нормы инсоляции из системы нормативных документов в строительстве ТСН 23-303-99 Инсоляция и солнцезащита (Московские городские строительные нормы. МГСН 2.05-99), утв. Правительством Москвы в 1999 г. [189], которые могут быть формализованы в БЗ. В гигиенических нормативах инсоляции регламентировано нормативное время инсоляции в соответствии с Гигиеническими требованиями к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий [190] (приложение V, данный СанПиН отменен). Согласно этому СанПиН допускалась прерывистость продолжительности инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее 1 ч. При это суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 ч соответственно для каждой зоны. В приложении VI приведена гигиеническая классификация продолжительности инсоляции. Определение среднегодовой инсоляции в часах в зависимости от расположения и ориентации оси окна жилого помещения приведено в приложении VII. Определение ориентации оси окна жилого помещения для выполнения гигиенических требований по обеспечению инсоляции приведено в приложении VIII.

Для оценки степени привлекательности строительства жилого многоэтажного здания на основе расчёта относительной площади инженерных коммуникаций и эмпирического опыта действующей проектной организации была построена таблица 2.1. Каждая строка этой таблицы содержит пример строительного объекта со своим классом жилья, этажностью, а также отношениями продаваемой площади квартир к общей площади и продаваемой площади квартир

к общей суммарной поэтажной площади. Из таблицы 1.1 следует, что если площадь квартир жилого здания высотой более 48 этажей не превышает 550 кв. метров на этаже, то коэффициент отношения продаваемой площади всех квартир к общей (строительной) площади здания составляет $k \approx 0,5$.

Таблица 2.1 – Коэффициент удорожания в зависимости от этажности и площади этажа по данным действующей проектной организации на примере построенных объектов

Этажность	Класс жилья	Отношение продаваемой площади квартир к общей площади	Отношение продаваемой площади квартир к общей суммарной поэтажной площади
	комфорт		
	бизнес		
	премиум		
	комфорт		
	бизнес		
	премиум		
	комфорт		
	бизнес		
	премиум		
	комфорт		
	бизнес		
	премиум		

Таким образом, для продажи 100 квадратных метров необходимо построить 200 квадратных метров здания, и себестоимость здания значительно возрастает. Также из этой таблицы следует, что высокий выходной коэффициент $k > 0,75$ соответствует малоэтажному жилью комфорт-класса (небольшая высота здания не требует большого количества инженерных систем и большого количества лифтов — достаточно одной лестницы). Исходя из этих рассуждений предлагается ввести индекс привлекательности строительства, рассчитанный из входных характеристик — высоты и площади здания: чем ниже этот коэффициент, тем ниже рентабельность. Если коэффициент равен 0,6, это то из 100 квадратных метров продадут только 60. Для застройщика и проектировщика желательным является коэффициент $k > 0,7$ (при $k = 0,7$ на 70 квадратных метров продаваемой площади необходимо построить 100 квадратных метров).

В результате, к примеру, у небоскрёбов появляются дополнительные лифты, лестницы для эвакуации, дополнительные технические помещения и технические этажи (инженерные системы должны обслуживать несколько зон по высоте). Все эти дополнительные инженерные решения требуют площади. Для небоскрёбов этот коэффициент является наиболее низким, так как чем выше этажность здания, тем ниже данный коэффициент. В то же время, чем выше уровень класса небоскрёбов, тем меньше этот коэффициент. Для эконом-небоскрёбов можно не делать центральное кондиционирование. Для премиального бизнес-класса жилья в небоскрёбе должно быть предусмотрено центральное кондиционирование (а значит, должно размещаться оборудование для этого центрального кондиционирования), что снижает индекс привлекательности строительства.

Таким образом, представлены различные проектные характеристики многоквартирных жилых домов, которые, имеют внутренние нелинейные отношения. Однако, для целей настоящего исследования представляется целесообразным рассмотреть их в общих чертах, акцентируя внимание на ключевых параметрах, определяющих основные свойства и стоимость будущего объекта недвижимости³. Для целей исследования предлагается абстрагироваться от второстепенных параметров и сосредоточиться на ключевых факторах, которые должны быть учтены при разработке проектной документации и формировании сметной стоимости строительства. Это позволит обеспечить обоснованное принятие решений на предпроектной стадии строительства и повысить его экономическую эффективность.

2.2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ О ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

Данная глава посвящена формализации знаний о проектных характеристиках многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству. Рассматриваются процедуры извлечения знаний и определяется перечень допущений, принятых в рамках исследования. Эти допущения служат основой для дальнейшей работы с параметрами, которые будут интегрированы в систему поддержки принятия решений. После конкретизации параметров проводится анализ их взаимозависимости.

Правильное количество лифтов способствует созданию благоприятной атмосферы в здании, повышению производительности труда и улучшению качества обслуживания жителей. Расчёт количества лифтов в здании в соответствии с [196] учитывает следующие параметры:

- наибольшая поэтажная площадь квартир, м²
- общая грузоподъёмность, кг
- скорость, м/с
- этажность, число этажей

База знаний:

- *П*

Р

а

в

и

л

³ Помимо вышеупомянутых параметров, существует множество других факторов, которые также оказывают влияние на конечный результат. Эти факторы могут быть как количественными, так и качественными, и их учёт требует комплексного подхода и применения методов многофакторного анализа.

Если этажность соответствует 4 и общая_грузоподъемность соответствует 630 и скорость соответствует 1,0 и поэтажная площадь квартир соответствует 800, то число_лифтов

соответствует 630 и скорость соответствует 1,0 и поэтажная площадь квартир соответствует 550, то число_лифтов соответствует 1

- Правило 3. Если этажность соответствует 9 и общая_грузоподъемность соответствует 630 и скорость соответствует 1,0 и поэтажная площадь квартир соответствует 400, то число_лифтов соответствует 1

- Правило 4. Если этажность соответствует 9-17 и общая_грузоподъемность соответствует $400+630=1030$ и скорость соответствует 1,0 и поэтажная площадь квартир соответствует 500, то число_лифтов соответствует 2

- Правило 5. Если этажность соответствует 18-19 и общая_грузоподъемность соответствует $400+630=1030$ и скорость соответствует 1,6 и поэтажная площадь квартир соответствует 450, то число_лифтов соответствует 2

- Правило 6. Если этажность соответствует 20-25 и общая_грузоподъемность соответствует $400+630+630=1660$ и скорость соответствует 1,6 и поэтажная площадь квартир соответствует 350, то число_лифтов соответствует 3

- Правило 7. Если этажность соответствует 20-25 и общая_грузоподъемность соответствует $400+400+630+630=2060$ и скорость соответствует 1,6 и поэтажная площадь квартир соответствует 450, то число_лифтов соответствует 4

Структурная схема нечёткой экспертной системы подбора количества лифтов в здании приведена на рис. X.1 в приложении X. Функции принадлежности лингвистических переменных наибольшая поэтажная площадь квартир и общая грузоподъемность приведены на рис. X.2, скорость и этажность приведены на рис. X.3, число лифтов приведены на рис. X.4.

Математическая модель посадки жилых зданий на заданном земельном участке строительства включает подсистемы оценки количества этажей для посадки объекта на земельный участок (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов, многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов, блокированные жилые дома, для кварталов, блокированные жилые дома, для жилых районов), а также систему ориентирования здания в зависимости от параметров инсоляции и географической широты строительного объекта. Учитываемые характеристики для оценки количества этажей при посадке объекта на земельный участок приведены ниже.

- Расчёт количества этажей в доме (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов):

- коэффициент застройки жилыми домами, %,
- плотность застройки жилыми домами,
- плотность населения.

Выход: этажность жилого дома, число этажей.

- Расчёт количества этажей в доме (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов):

- коэффициент застройки жилыми домами, %,
- плотность застройки жилыми домами.

Выход: этажность жилого дома, число этажей.

- Расчёт количества этажей в доме (блокированные жилые дома, для кварталов):

- коэффициент застройки жилыми домами, %,
- плотность застройки жилыми домами.

Выход: этажность жилого дома, число этажей.

- Расчёт количества этажей в доме (блокированные жилые дома, для жилых районов):

- плотность застройки,
- коэффициент застройки жилыми домами, %.

Выход: этажность жилого дома, число этажей.

При создании рекомендаций по посадке зданий следует учитывать номы инсоляции, которые позволят принимать решения по ориентированию здания по сторонам света. Руководящий нормативный документ в данном вопросе: СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. В условиях застройки возможна одноразовая прерывность инсоляции жилых помещений при условии увеличения суммарной продолжительности инсоляции в течение дня на 0,5 ч для каждой зоны соответственно.

Вычисление направления оси здания для выполнения норм инсоляции учитывают документ МГСН 2.05-99 Инсоляция и солнцезащита. г. Москва. В гигиенических нормативах инсоляции регламентировано нормативное время инсоляции в соответствии с СанПиН 2.2.1/2,1.1.1076-01 Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий [190], согласно которому разрешена прерывистость продолжительности инсоляции, при которой один из периодов должен быть не менее одного часа. При это суммарная продолжительность нормируемой инсоляции должна увеличиваться на 0,5 часа для каждой зоны [197]. Расчёт возможных направлений оси окна (в градусах) в зависимости от параметров инсоляции при посадке здания учитывает следующие параметры:

- среднегодовая инсоляция, час / сут.,
- географическая широта, град.,
- количество комнат, шт.

База знаний:

- *Правило 1. Если окна жилого помещения ориентированы на север, то инсоляция не*

выполняется совсем, остальные входные параметры не имеют значения. Получаем на выходе отсутствие выполнения инсоляционных норм или 0ч.

- *Правило 2. Если окна жилого помещения ориентированы на юг, то инсоляция выполняется, остальные входные параметры не имеют значения. Получаем на выходе выполнение инсоляционных норм или 9ч.*

- *Правило 3. Если окна жилого помещения ориентированы на запад, то инсоляция выполняется, при условии обеспечения непрерывной или прерывистой инсоляции. Получаем на выходе выполнение инсоляционных норм или примерно 4ч.*

- *Правило 4. Если окна жилого помещения ориентированы на восток, то инсоляция выполняется, при условии обеспечения непрерывной или прерывистой инсоляции. Получаем на выходе выполнение инсоляционных норм или примерно 4 часа.*

Данная экспертная система предназначена для анализа и сопоставления градостроительных и проектных характеристик земельного участка, рассматриваемого для покупки под застройку и состоит из четырёх подсистем, которые могут использоваться как для подбора вариантов зданий для конкретного земельного участка, так и для оценки соответствия выбранного здания градостроительным и проектным нормам. Функции принадлежности входной лингвистической переменной количество квартир на этаже приведены на рис. 2.1.

Функция принадлежности лингвистической переменной среднегодовая инсоляция приведена на рис. X.23, переменной географическая широта приведена на рис. X.24, переменной количество комнат приведена на рис. X.25, переменной направление оси окна приведена на рис. X.26, переменной альтернативное направление оси окна приведена на рис. X.27.

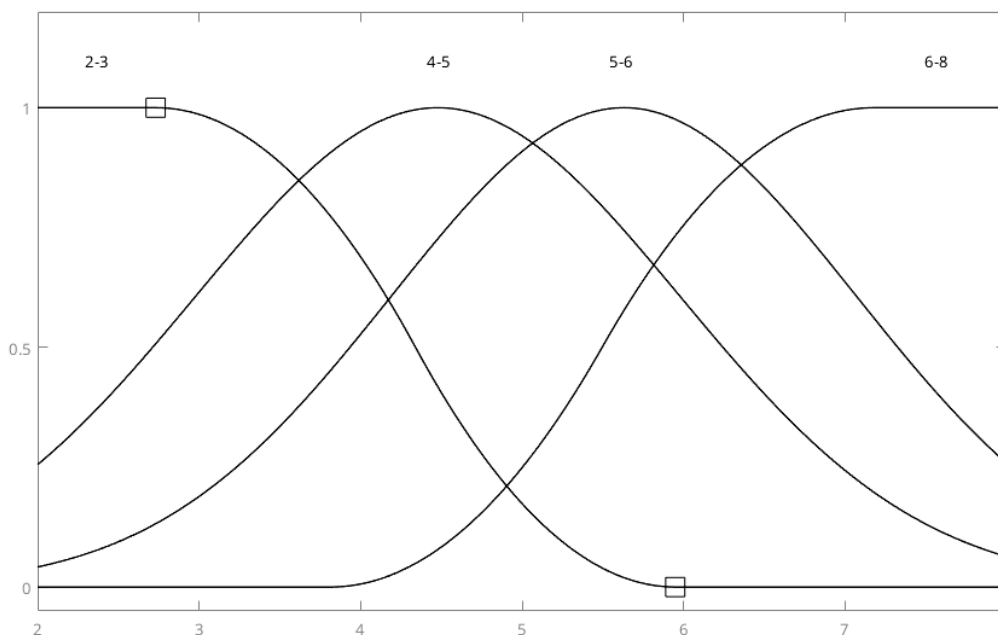


Рис. 2.1. Функции принадлежности входной лингвистической переменной количество квартир на этаже, шт.

Структурная схема нечёткой экспертной системы расчёта количества этажей в доме

п

р • многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов (рис. X.10). Функции принадлежности лингвистических переменных: коэффициент застройки жилыми домами и плотность застройки жилыми домами приведены на рис. X.11, переменных: плотность населения и этажность жилого дома приведены на рис. X.12,

д • многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов (рис. X.13). Функции принадлежности лингвистических переменных: коэффициент застройки коэффициент застройки жилыми домами и плотность застройки коэффициент застройки жилыми домами приведены на рис. X.14. Функция принадлежности переменной этажность жилого дома приведена на рис. X.15.

• блокированные жилые дома, для кварталов (рис. X.16). Функции принадлежности лингвистических переменных: коэффициент застройки коэффициент застройки жилыми домами р плотность застройки коэффициент застройки жилыми домами приведены на рис. X.17. Функция принадлежности лингвистической переменной этажность жилого дома приведена на рис. X.18.

о • блокированные жилые дома, для жилых районов (рис. X.19). Функции принадлежности лингвистических переменных: плотность застройки коэффициент застройки жилыми домами, коэффициент застройки жилыми домами (рис. X.20). Функция принадлежности лингвистической переменной этажность жилого дома приведена на рис. X.21.

и В ГОСТ 31937-2011 [191], согласно пункту 5.1.5 выделяется категории технического состояния несущих конструкций (состояния сооружения). Описание данных категорий описано в таблице Д1 СП 22.13330.2016 [187], откуда, опираясь на экспертную информацию о размерах трещин и других численных параметрах [198-199], были получены правила вывода. Экспертная система расчёта процента износа конструкций и определения категории состояния зданий учитывает следующие параметры:

- л ◦ дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см,
- я ◦ дефекты в ЖБ конструкциях, %,
 - ширина раскрытия трещин в наружных стенах, мм,
- с ◦ сдвиги и трещины в перекрытиях, см.

л Выход: процент износа конструкций (по категориям), %.

У Структурная схема нечёткой экспертной системы для расчёта степени износа конструкций и определения категории состояния зданий по внешним признакам и функции принадлежности выходной лингвистической переменной приведены на рис. 2.2. Функции принадлежности входных лингвистических переменных дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн,

:

дефекты в ЖБ конструкциях, ширина раскрытия трещин в наружных стенах, сдвиги и трещины в перекрытиях приведены на рис. 2.3.

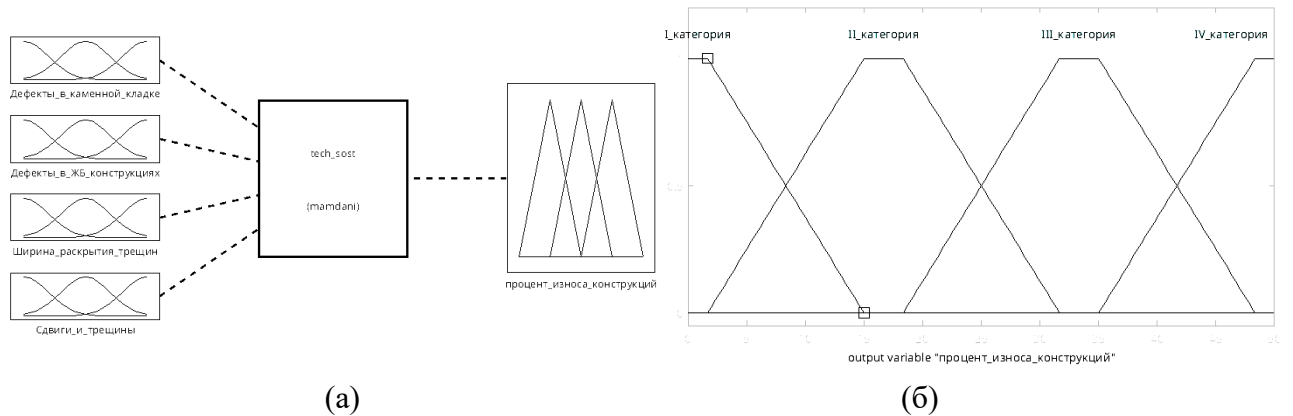


Рис. 2.2 (а). Структурная схема нечёткой экспертной системы с четырьмя входами и одним выходом для расчёта процента износа конструкций и определения категории состояния зданий по внешним признакам; (б) – Функции принадлежности выходной лингвистической переменной ЭС, по оси ординат – значение функции принадлежности, по оси абсцисс: процент износа конструкций, %.

База знаний:

- Правило 1. Если Дефекты_в_каменной_кладке соответствует 0_см, Дефекты_в_ЖБ_конструкциях соответствует <0.1_мм, Ширина_раскрытия_трещин соответствует 0_мм, Сдвиги_и_трещины соответствует 0, то процент_износа_конструкций соответствует I_категория
- Правило 2. Если Дефекты_в_каменной_кладке соответствует 5-7_см, Дефекты_в_ЖБ_конструкциях соответствует <0.1_мм, Ширина_раскрытия_трещин соответствует 0_мм, Сдвиги_и_трещины соответствует 0, то процент_износа_конструкций соответствует I_категория
- Правило 3. Если Дефекты_в_каменной_кладке соответствует 10-15_см Дефекты_в_ЖБ_конструкциях соответствует <15 и Ширина_раскрытия_трещин соответствует 2-3_мм, Сдвиги_и_трещины соответствует 0, то процент_износа_конструкций соответствует II_категория
- Правило 4. Если Дефекты_в_каменной_кладке соответствует 15-25_см, Дефекты_в_ЖБ_конструкциях соответствует <30 и Ширина_раскрытия_трещин соответствует до_5_мм, Сдвиги_и_трещины соответствует <2_см, то процент_износа_конструкций соответствует III_категория

• **Правило 5.** Если Дефекты_в_каменной_кладке соответствует 15-25_см, Дефекты_в_ЖБ_конструкциях соответствует <30 и Ширина_раскрытия_трещин соответствует до_5_мм, Сдвиги_и_трещины соответствует <2_см, то процент_износа_конструкций соответствует III_категория

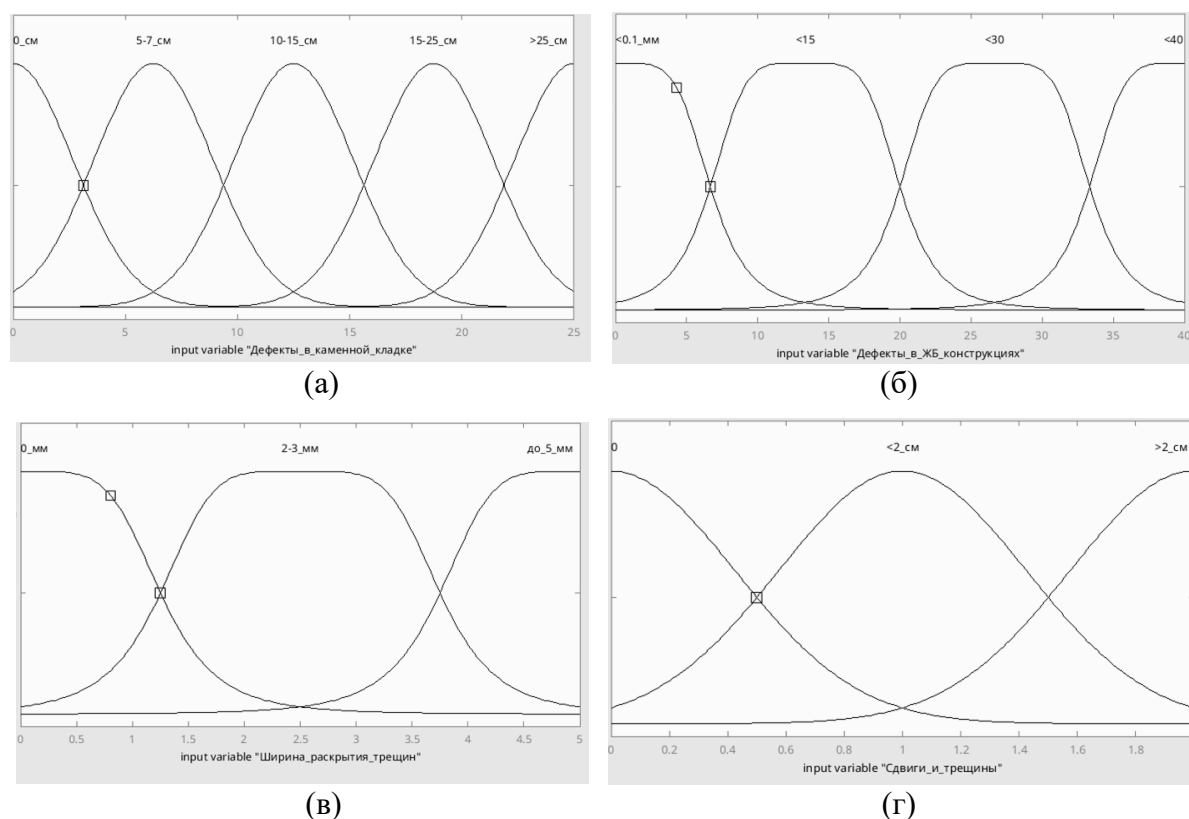


Рис. 2.3. Функции принадлежности входных лингвистических переменных, по оси ординат – значения функций принадлежности, по осям абсцисс:

(а) – Дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см; (б) – Дефекты в ЖБ конструкциях, %; (в) – Ширина раскрытия трещин в наружных стенах, мм; (г) – Сдвиги и трещины в перекрытиях, см

Структурная схема экспертной системы расчёта процента износа конструкций и определения категории состояния зданий по внешним признакам приведена на рис. X.28 приложения X. Функции принадлежности переменных дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн и дефекты в ЖБ конструкциях приведены на рис. X.29. Функции принадлежности переменных ширина раскрытия трещин в наружных стенах и сдвиги и трещины в перекрытиях приведены на рис. X.30. Функция принадлежности выходной переменной процент износа конструкций приведена на рис. X.31.

При планировании строительства, определении технического облика, проектных характеристик и инженерной концепции зданий, экспертная оценка инвестиционной привлекательности многоквартирных домов является задачей, решение которой направлено на поддержку принятия обоснованных инвестиционных решений. Разработанная экспертная система рассчитывает параметр инвестиционной привлекательности (в рублях) учитывает

следующие входные параметры:

- количество квартир в доме, шт.
- количество квартир на этаже, шт.
- средняя площадь квартиры,
- средняя площадь комнаты,
- средняя площадь кухни,
- высота потолков,

В качестве экспертной информации для построения БЗ интеллектуальной системы по оценке инвестиционной привлекательности были использованы рекомендательные данные о классификации типов жилья краснодарской строительной компании (эконом, комфорт, бизнес, премиум). Модель рассчитывает значение инвестиционной привлекательности в миллионах рублей. Поскольку цены на строительство постоянно меняются, в экспертной системе целесообразно использовать поправочные коэффициенты вместо денежных сумм с привязкой к конкретной валюте. База знаний и форма лингвистических переменных при этом никак не изменяются — достаточно задать соответствующий диапазон значений коэффициента, чтобы результаты вычислений можно было использовать для коррекции финансовых моделей. База знаний:

- *Правило 1. Если количество_квартир_в_доме соответствует неограничено и количество_квартир_на_этаже соответствует 5-6 и средняя_площадь_квартиры соответствует 34 и средняя_площадь_комнаты соответствует 10 и средняя_площадь_кухни соответствует 10 и высота_потолков соответствует от_2.7, то инвестиционная_привлекательность соответствует комфорт*

- *Правило 2. Если количество_квартир_в_доме соответствует до_120 и количество_квартир_на_этаже соответствует 4-5 и средняя_площадь_квартиры соответствует 50 и средняя_площадь_комнаты соответствует 10-20 и средняя_площадь_кухни соответствует 14 и высота_потолков соответствует от_2.75, то инвестиционная_привлекательность соответствует бизнес*

- *Правило 3. Если количество_квартир_в_доме соответствует до_50 и количество_квартир_на_этаже соответствует 2-3 и средняя_площадь_квартиры соответствует 100 и средняя_площадь_комнаты соответствует 30 и средняя_площадь_кухни соответствует 20 и высота_потолков соответствует от 3, то инвестиционная_привлекательность соответствует премиум.*

Структурная схема нечёткой экспертной системы оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов приведена на рис. X.5 приложения X. Структурная схема нечёткой экспертной системы расчёта направления оси окна в зависимости от параметров

инсоляции при посадке здания приведена на рис. X.22 приложения X. Функции принадлежности переменных количество квартир в доме и количество квартир на этаже приведены на рис. X.6. Функции принадлежности переменных средняя площадь квартиры и средняя площадь комнаты приведены на рис. X.7. Функции принадлежности переменных средняя площадь кухни и высота потолков приведены на рис. X.8. Функция принадлежности переменной инвестиционная привлекательность приведена на рис. X.9.

Для разработки индекса привлекательности строительства жилого многоэтажного здания в зависимости от его высоты и площади входными переменными приняты высота здания (от 15 м.) и площадь здания (до 550 кв. м. и более 550 кв. м.). Выходной параметр — себестоимость строительства за квадратный метр жилья. Из-за меняющегося характера цен на недвижимость в экспертной системе целесообразно использовать коэффициент удорожания без привязки к конкретной расчётной стоимости. База знаний:

- *Правило 1. Если жилая застройка многоэтажная (от 15 до 75 м.), с небольшим количеством квартир на этаже (от 200 кв.м. жилья до 550 кв.м.), то себестоимость строительства будет низкой.*
- *Правило 2. Если жилая застройка многоэтажная (от 15 до 75 м.), с большим количеством квартир на этаже (от 550 кв.м. жилья и более), то себестоимость строительства будет средней.*
- *Правило 3. Если жилая застройка высотная (от 75 м. до 100 м.), с небольшим количеством квартир на этаже (от 200 кв.м. жилья до 550 кв. м.), то себестоимость строительства будет выше средней*
- *Правило 4. Если жилая застройка высотная (от 75 м. до 100 м.), с большим количеством квартир на этаже (от 550 кв.м. жилья и более), то себестоимость строительства будет высокой*
- *Правило 5. Если жилая застройка уникальная (100 м. и выше), с небольшим количеством квартир на этаже (от 200 кв.м. жилья до 550 кв. м.), то себестоимость строительства будет очень высокой*
- *Правило 6. Если жилая застройка уникальная (100 и выше), с большим количеством квартир на этаже (от 550 кв.м. жилья и более), то себестоимость строительства будет критической.*

Структурная схема нечёткой экспертной системы с двумя входами и одним выходом для расчёта индекса привлекательности строительства приведена на рис. X.32 в приложении X. Функция принадлежности выходной лингвистической переменной оценка стоимости инженерных коммуникаций приведена на рис. X.33. Функция принадлежности входной лингвистической переменной высота здания приведена на рис. X.34. Функция принадлежности

входной лингвистической переменной общая площадь приведена на рис. X.35. Правила оценки индекса рентабельности инвестиций в строительство объектов жилой застройки учётом данных ДЗЗ приведён в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Набор векторов категориальных переменных и правила оценки индекса рентабельности инвестиций в строительство объектов жилой застройки учётом данных ДЗЗ

Динамика строительства в регионе по данным ДЗЗ	Интегральный макроэкономический фактор	Рыночный спрос	Срок окупаемости	Оценка индекса рентабельности инвестиций
низкая	неблагоприятный	низкий	короткий	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	низкий	короткий	неблагоприятный
низкий	нейтральный	низкий	короткий	неблагоприятный
высокая	нейтральный	низкий	короткий	неблагоприятный
низкая	благоприятный	низкий	короткий	нейтральный
высокая	благоприятный	низкий	короткий	нейтральный
низкая	неблагоприятный	средний	короткий	нейтральный
высокая	неблагоприятный	средний	короткий	нейтральный
низкая	нейтральный	средний	короткий	нейтральный
высокая	нейтральный	средний	короткий	нейтральный
низкая	благоприятный	средний	короткий	нейтральный
высокая	благоприятный	средний	короткий	нейтральный
низкая	неблагоприятный	высокий	короткий	нейтральный
высокая	неблагоприятный	высокий	короткий	нейтральный
низкая	нейтральный	высокий	короткий	благоприятный
высокая	нейтральный	высокий	короткий	благоприятный
низкая	благоприятный	высокий	короткий	благоприятный
высокая	благоприятный	высокий	короткий	благоприятный
низкая	неблагоприятный	низкий	средний	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	низкий	средний	неблагоприятный
низкий	нейтральный	низкий	средний	неблагоприятный
высокая	нейтральный	низкий	средний	неблагоприятный
низкая	благоприятный	низкий	средний	неблагоприятный
высокая	благоприятный	низкий	средний	неблагоприятный
низкая	неблагоприятный	средний	средний	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	средний	средний	неблагоприятный
низкая	нейтральный	средний	средний	неблагоприятный
высокая	нейтральный	средний	средний	неблагоприятный
низкая	благоприятный	средний	средний	неблагоприятный
высокая	благоприятный	средний	средний	неблагоприятный
низкая	неблагоприятный	высокий	средний	нейтральный
высокая	неблагоприятный	высокий	средний	нейтральный
низкая	нейтральный	высокий	средний	нейтральный
высокая	нейтральный	высокий	средний	нейтральный
низкая	благоприятный	высокий	средний	нейтральный
высокая	благоприятный	высокий	средний	нейтральный
низкая	неблагоприятный	низкий	длительный	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	низкий	длительный	неблагоприятный
низкая	нейтральный	низкий	длительный	неблагоприятный
высокая	нейтральный	низкий	длительный	неблагоприятный
низкая	благоприятный	низкий	длительный	неблагоприятный
высокая	благоприятный	низкий	длительный	неблагоприятный
низкая	неблагоприятный	средний	длительный	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	средний	длительный	неблагоприятный
низкая	нейтральный	средний	длительный	неблагоприятный
высокая	нейтральный	средний	длительный	неблагоприятный
низкая	благоприятный	средний	длительный	неблагоприятный
высокая	благоприятный	средний	длительный	неблагоприятный
низкая	неблагоприятный	высокий	длительный	неблагоприятный
высокая	неблагоприятный	высокий	длительный	неблагоприятный
низкая	нейтральный	высокий	длительный	нейтральный
высокая	нейтральный	высокий	длительный	нейтральный
низкая	благоприятный	высокий	длительный	нейтральный
высокая	благоприятный	высокий	длительный	нейтральный

Входы:

- динамика строительства в заданном регионе по данным ДЗЗ (0-100%);
- макроэкономические факторы региона (интегральный фактор, рассчитываемый в баллах и учитывающий поступления в бюджет в регионе в т.ч. налоги на землю и имущество, другие экономические показатели);
- рыночный спрос (0-100%, доля покрытия спроса на рынке);
- срок окупаемости (1-10 лет).

Выход: оценка индекса рентабельности инвестиций (неблагоприятный, нейтральный, благоприятный).

Индекс рентабельности инвестиций рассчитывают по формуле: $PI=NPV/I$, где PI – это индекс рентабельности инвестиций, NPV – чистый дисконтированный доход, I – изначально вложенный инвестиционный капитал.

Интегральный макроэкономический фактор учитывает следующие показатели:

- валовой национальный продукт (ВНП) или валовой внутренний продукт (ВВП) (абсолютная величина и на душу населения);
- валовой региональный продукт (ВРП);
- уровень инфляции;
- инвестиционный климат;
- средний уровень доходов населения и степень их дифференциации;
- продолжительность жизни, уровень физического и психического здоровья людей;
- средний уровень образования в регионе;
- уровень потребления материальных благ и услуг (продуктов питания, жилья, телефонных услуг) и обеспеченность домашних хозяйств товарами длительного пользования;
- уровень здравоохранения (обеспеченность поликлиниками, больницами, аптеками, диагностическими центрами и услугами скорой помощи, качество предоставляемых медицинских услуг);
- состояние окружающей среды;
- развитие малого бизнеса;
- обогащение культурной жизни людей.

Рассмотрим систему, которая анализирует объекты жилой недвижимости в инфраструктуре существующего поселения, города или деревни, с учётом оценки динамики строительных работ на интересующей территории. Набор векторов категориальных переменных и правила оценки прогноза окупаемости инвестиций в строительство с учётом данных ДЗЗ приведён в табл. 2.3. Входы:

- соотношение прироста зон строительства и зон простоя на основе анализа соотношения

общего объёма строительства к подсвеченной части электроосвещенности в ночное время;

- оценка активности портов, станций и вокзалов;
- планируемые объёмы строительства (объёмы инвестиций) (низкие, средние, высокие).

Выходы:

- оценка уровня инвестиционных рисков в строительство (низкий, средний, высокий);
- прогноз окупаемости (среднесрочный, долгосрочный).

Правила оценки рентабельности инвестиций в многоэтажное жилое строительство в городах и населённых пунктах рядом с дорожно-транспортной инфраструктурой представлены в табл. 2.4 и 2.5 соответственно. Входы:

- соотношение общей площади и интенсивности засветки дорог и дорожных сетей в ночное и дневное время (дорожно-транспортная инфраструктура);
- планируемые объёмы инвестиций.

Выход: оценка рентабельности инвестиций в строительство многоквартирного жилого дома.

Таблица 2.3 – Набор векторов категориальных переменных и правила оценки прогноза окупаемости инвестиций в строительство с учётом данных ДЗЗ

Динамика изменения соотношения площадей зон строительства и зон простоя	Оценка активности портов и ж/д транспорта	Планируемые объёмы строительства	Оценка уровня инвестиционных рисков в строительство	Прогноз окупаемости
отрицательная	низкая	низкие	высокий	среднесрочный
положительная	низкая	низкие	высокий	среднесрочный
отрицательная	низкая	средние	высокий	долгосрочный
положительная	низкая	средние	средний	среднесрочный
отрицательная	низкая	высокие	высокий	долгосрочный
положительная	низкая	высокие	средний	долгосрочный
отрицательная	средняя	низкие	высокий	среднесрочный
положительная	средняя	низкие	средний	среднесрочный
отрицательная	средняя	средние	высокий	среднесрочный
положительная	средняя	средние	средний	среднесрочный
отрицательная	средняя	высокие	высокий	среднесрочный
положительная	средняя	высокие	средний	среднесрочный
отрицательная	высокая	низкие	средний	среднесрочный
положительная	высокая	низкие	низкий	среднесрочный
отрицательная	высокая	средние	средний	среднесрочный
положительная	высокая	средние	низкий	среднесрочный
отрицательная	высокая	высокие	средний	среднесрочный
положительная	высокая	высокие	низкий	среднесрочный

Таблица 2.4 – Правила оценки рентабельности инвестиций в многоэтажное жилое строительство в городах с учётом данных ДЗЗ

Соотношение общей площади и интенсивности засветки дорог и дорожных сетей в ночное и дневное время	Планируемые объёмы инвестиций	Индекс рентабельности инвестиций
Низкий трафик	низкие	неблагоприятный
Низкий трафик	средние	неблагоприятный
Низкий трафик	высокие	нейтральный
Средний трафик	низкие	нейтральный

Средний трафик	средние	нейтральный
Средний трафик	высокие	благоприятный
Высокий трафик	низкие	благоприятный
Высокий трафик	средние	благоприятный
Высокий трафик	высокие	благоприятный

Таблица 2.5 – Правила оценки рентабельности инвестиций в малоэтажное жилое строительство в населённых пунктах, не имеющих статус города с учётом данных ДЗЗ

Соотношение общей площади и интенсивности засветки дорог и дорожных сетей в ночное и дневное время	Планируемые объёмы инвестиций	Индекс рентабельности инвестиций
Низкий трафик	низкие	низкий
Низкий трафик	средние	низкий
Низкий трафик	высокие	средний
Средний трафик	низкие	низкий
Средний трафик	средние	средний
Средний трафик	высокие	высокий
Высокий трафик	низкие	средний
Высокий трафик	средние	высокий
Высокий трафик	высокие	высокий

Правила оценки инвестиционных рисков при строительстве объектов жилой застройки на основе данных по климатическим и геофизическим факторам, полученных в результате мониторинга средствами ДЗЗ (Сибирь, Дальний восток, Арктика) приведены в табл. 2.6 и 2.7 соответственно.

Входы:

- относительная площадь болот и торфяников (например, в Восточной Сибири);
- интенсивность пожаров;
- подтопляемость территорий от разлива рек и наводнения;
- сейсмическая активность (количество за последние 10 лет, индекс сейсмической активности).

Выход: оценка инвестиционных рисков в строительство.

При применении данных ДЗЗ были использованы структурированные коллекции информации, которые закономерности и экспертные знания, связанные с анализом и интерпретацией изображений поверхности Земли. Были использованы лингвистические (нечёткие) переменные, которые позволяют инвесторам и аналитикам описывать и оценивать строительные объекты и ситуации в обобщённом и интуитивно понятном виде.

Для расчёта входных числовых значений требуется применение специальных метрик, которые в настоящем исследовании не рассматриваются. К таким метрикам можно отнести способ оценки интенсивности застройки по данным мониторинга ДЗЗ в интересующем регионе. Этот способ может быть основан на количественной оценке, алгоритмах машинного обучения или экспертных методах. Количественные характеристики экспертных систем, учитывающих данные ДЗЗ приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.6. Правила оценки инвестиционных рисков в многоэтажное жилое строительство в городах с учётом данных ДЗЗ

Относительная площадь болот и торфяников	Интенсивность пожаров	Подтопляемость территорий	Сейсмическая активность	Инвестиционный риск в строительство
низкая	низкая	низкая	низкая	незначительный
низкая	низкая	низкая	высокая	умеренный
низкая	низкая	высокая	низкая	умеренный
низкая	низкая	высокая	высокая	значительный
низкая	высокая	низкая	низкая	умеренный
низкая	высокая	низкая	высокая	значительный
низкая	высокая	высокая	низкая	умеренный
низкая	высокая	высокая	высокая	значительный
средняя	низкая	низкая	низкая	незначительный
средняя	низкая	низкая	высокая	значительный
средняя	низкая	высокая	низкая	умеренный
средняя	низкая	высокая	высокая	значительный
средняя	высокая	низкая	низкая	умеренный
средняя	высокая	низкая	высокая	значительный
средняя	высокая	высокая	низкая	умеренный
средняя	высокая	высокая	высокая	значительный
большая	низкая	низкая	низкая	умеренный
большая	низкая	низкая	высокая	значительный
большая	низкая	высокая	низкая	умеренный
большая	низкая	высокая	высокая	значительный
большая	высокая	низкая	низкая	значительный
большая	высокая	низкая	высокая	значительный
большая	высокая	высокая	низкая	значительный
большая	высокая	высокая	высокая	значительный

Параметры, выбранные для исследования, тесно связаны с концепцией построения экспертной системы и оказывают значительное влияние на её функционирование. Их выбор обоснован необходимостью учёта определённых факторов при подготовке жилого дома к строительству.

Таблица 2.7. Правила оценки инвестиционных рисков в малоэтажное жилое строительство в населённых пунктах, не имеющих статус города с учётом данных ДЗЗ

Относительная площадь болот и торфяников	Интенсивность пожаров	Подтопляемость территорий	Сейсмическая активность	Инвестиционный риск в строительство
низкая	низкая	низкая	низкая	незначительный
низкая	низкая	низкая	высокая	незначительный
низкая	низкая	высокая	низкая	незначительный
низкая	низкая	высокая	высокая	умеренный
низкая	высокая	низкая	низкая	умеренный
низкая	высокая	низкая	высокая	значительный
низкая	высокая	высокая	низкая	умеренный
низкая	высокая	высокая	высокая	значительный
средняя	низкая	низкая	низкая	незначительный
средняя	низкая	низкая	высокая	значительный
средняя	низкая	высокая	низкая	умеренный
средняя	низкая	высокая	высокая	умеренный
средняя	высокая	низкая	низкая	умеренный
средняя	высокая	низкая	высокая	значительный
средняя	высокая	высокая	низкая	умеренный
средняя	высокая	высокая	высокая	значительный
большая	низкая	низкая	низкая	умеренный

большая	низкая	низкая	высокая	умеренный
большая	низкая	высокая	низкая	умеренный
большая	низкая	высокая	высокая	значительный
большая	высокая	низкая	низкая	значительный
большая	высокая	низкая	высокая	значительный
большая	высокая	высокая	низкая	значительный
большая	высокая	высокая	высокая	значительный

В приложении X представлены структурные схемы экспертных модулей. Каждая лингвистическая переменная была проанализирована с целью определения диапазона её значений и формы функций принадлежности. На графиках функций принадлежности в приложении X по оси ординат отложены значения этих функций в диапазоне от 0 до 1.

Таблица 2.8 – Количественные характеристики экспертных систем, учитывающих данные ДЗЗ

Наименование ЭС	Тип	Кол-во входов	Кол-во выходов	Кол-во логических правил	Кол-во функций принадлежности
Оценка индекса рентабельности инвестиций и инвестиционных рисков строительства объектов жилой застройки на основе региональных данных ДЗЗ	Города				
	Населённые пункты, не имеющие статус города				
Оценка инвестиционных рисков строительства жилых зданий на основе информации о развитии действующей инфраструктуры, полученной на основе данных ДЗЗ	Города				
	Населённые пункты, не имеющие статус города				
Оценка рентабельности инвестиций в строительство объектов жилой застройки рядом с дорожно-транспортной инфраструктурой	Города				
	Населённые пункты, не имеющие статус города				
Оценка инвестиционных рисков при строительстве объектов жилой застройки на основе данных по климатическим геофизическим факторам, полученным в результате мониторинга средствами ДЗЗ (регионы: Сибирь, Дальний восток, Арктика)	Города				
	Населённые пункты, не имеющие статус города				
Итого					

Структурные схемы экспертных систем, учитывающих результаты ДЗЗ, представлены на рис. X.38(б), X41(б), X43(б) и X46; функции принадлежности лингвистических переменных – на рис. X36, X37, X38(а), X39, X40, X41(а), X42, X43(а), X44, X45; функции поверхности отклика – на рис. 2.5-2.18.

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Рассмотрим общие принципы и набор параметров для комплексной оценки предварительного технического облика многоквартирного жилого дома на стадии подготовки к строительству с теоретической точки зрения. Методика поддержки принятия решений при проектировании многоквартирных домов включает следующие шаги:

- 1) определение входных и выходных проектных характеристик и их функций принадлежности;
- создание базы правил;
- 3) применение алгоритма Мамдани;
- 4) выбор метода дефазификации.

На основе этой методики определены процедуры определения следующих проектных характеристик: плотность застройки жилыми домами, плотность населения, этажность жилого дома, высота здания, полезная площадь и индекс привлекательности строительства. Также будут оценены количество квартир на этаже, количество квартир в доме, средняя площадь квартиры, количество квартир в доме, средняя площадь и количество комнат, средняя площадь кухни, высота потолков, число и общая грузоподъёмность лифтов. Также будут учтены географическая широта, среднегодовая инсоляция, направление окна. Будут оценено влияние сейсмической активности, интенсивности лесных пожаров, относительной площади болот и торфяников, а также интенсивность использования дорог в районе строительства с оценкой их влияния на инвестиционные риски.

Система логического вывода Мамдани использует функции принадлежности для выражения нечётких правил и логических связей между входами и выходами в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 2.4. Алгоритм Мамдани представляет собой следующую последовательность шагов.

1. Получение входных данных, представляющих численные значения из заданного диапазона.
2. Приведение полученных числовых значений к нечёткости (фаификация) путём преобразования входных переменных из числовых значений в нечёткие множества с использованием соответствующих функций принадлежности. Каждая входная переменная связывается с нечётким множеством, которое описывает степень принадлежности этой переменной к каждому терму (категории).
3. Агрегация предусловий правил - определение степени истинности для каждого условия системы правил с помощью объединения (нечёткой конъюнкции) соответствующих нечётких

множеств. Объединение выходных значений нечётких правил происходит для каждой переменной, используя логическую операцию объединения для получения общего выхода.

$$T(k \wedge l) = \min\{T(k), T(l)\},$$

где k и l — нечёткие функции принадлежности.

Нахождение степени истинности заключений системы правил (активизация):

$$r'(y) = \min(\{c_i, r(y)\}),$$

где c_i — степень истинности i -го следствия; $r(y)$ — функция принадлежности терма.

Д

е

ф

а

$$out = \frac{\int_{min}^{max} x r(x) dx}{\int_{min}^{max} r(x) dx},$$

где out — результат функции дефаззификации; x — выходная лингвистическая переменная; $r(x)$

— степень принадлежности, которая определяется на этапе активации; min и max — минимальное

и максимальные значения интервала выходной переменной.

ф

6. ЭС моделирует различные сценарии и их последствия на основе рассчитанных выходных числовых значений (управляющий сигнал, рекомендация или команда).

к

а

ц

и

я

для преобр

принадлеж

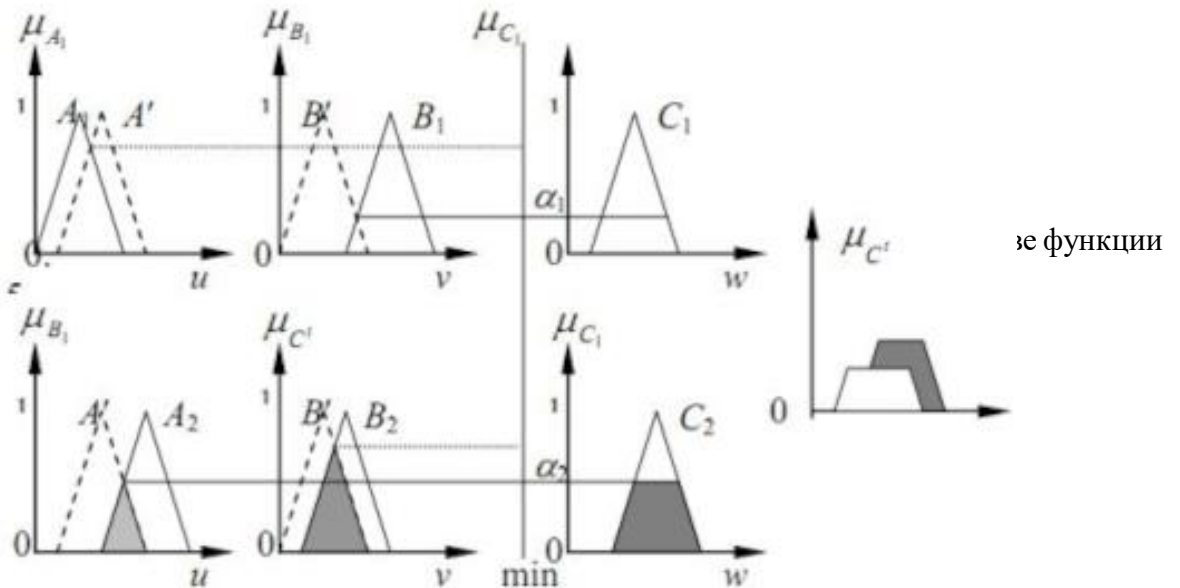


Рис. 2.4. Агрегация логического вывода методом Мамдани

Благодаря применению нечётких множеств в базе знаний, данный алгоритм демонстрирует устойчивость к шумам в данных, что сопоставимо с адаптивными свойствами нейронных сетей. Эта характеристика обусловлена способностью алгоритма нечёткого логического вывода эффективно обрабатывать неопределённости и неточности в исходных данных, что делает его подходящим для сложных и динамических систем, где традиционные

методы могут оказаться недостаточно эффективными.

Необходимо провести вычислительные эксперименты и тестирование разработанной методики. Для этого требуется провести расчёт численных характеристик связей входных и выходных переменных с построением этих зависимостей в виде многомерных функций поверхности отклика с последующей валидацией систем логического вывода.

2.4. АНАЛИЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ПРОЕКТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ И ИНЖЕНЕРНОЙ КОНЦЕПЦИЕЙ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Исследование взаимозависимости проектных характеристик многоквартирных жилых домов для подготовки к строительству и инженерной концепцией их возведения представляет собой комплексный анализ, направленный на выявление ключевых факторов, влияющих на эффективность, стоимость и качество многоэтажных жилых зданий. Далее представлены некоторые трёхмерные проекции поверхности отклика разработанных экспертных систем.

Анализ взаимозависимости параметров трафик-анализа для подбора количества лифтов в жилой комплекс в виде поверхности отклика переменных приведены на рис. 2.5-2.7.

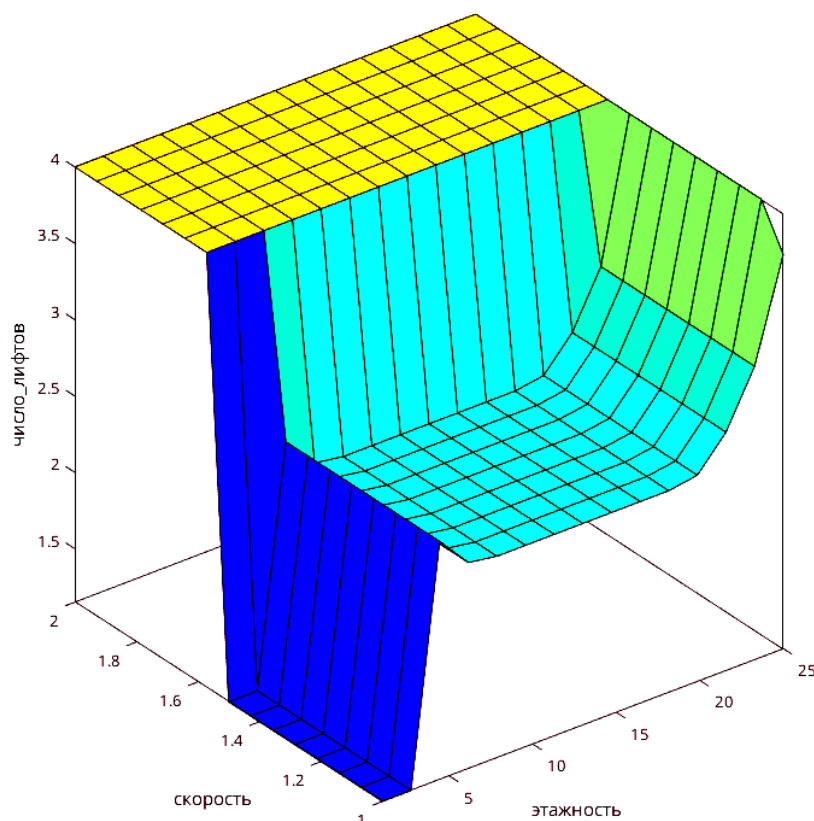


Рис. 2.5. Поверхность отклика переменных скорость, м/с, этажность, число этажей и число лифтов, шт.

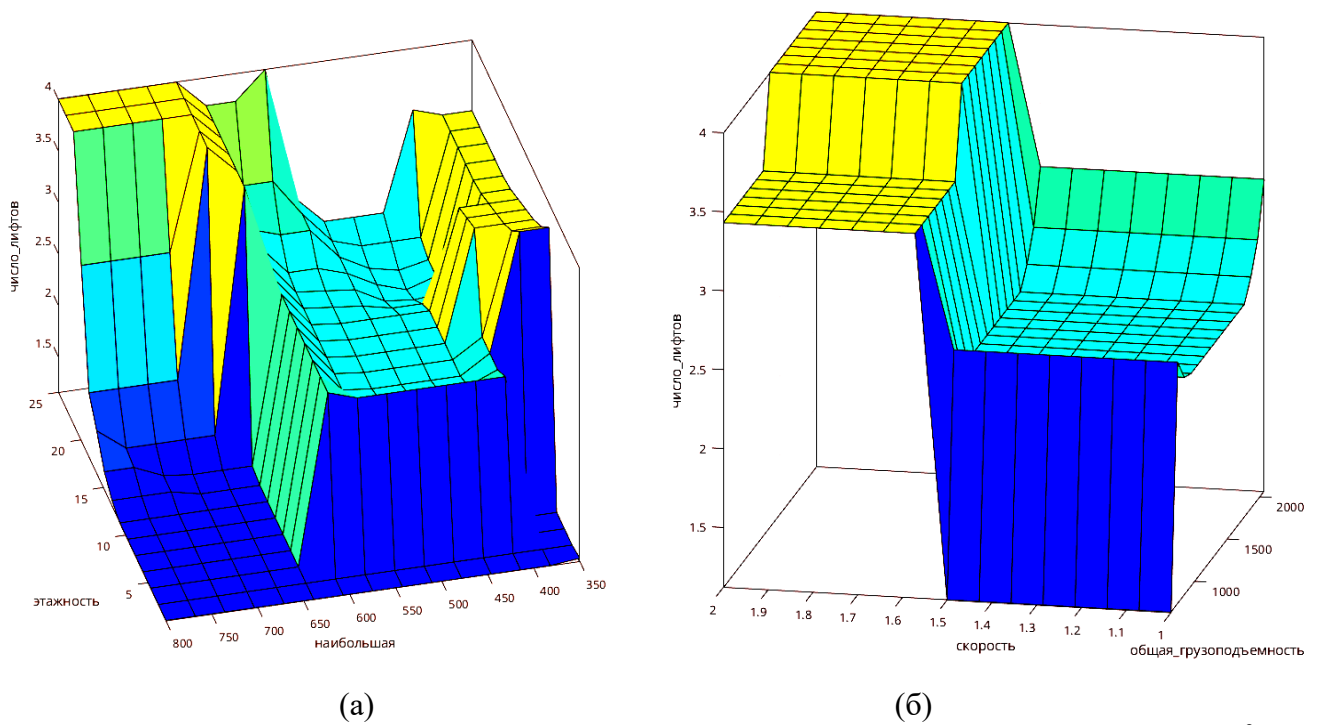


Рис. 2.6 (а). Поверхность отклика переменных наибольшая поэтажная площадь квартир, m^2 , этажность, число этажей и число лифтов, шт. (б) – поверхность отклика переменных общая грузоподъемность, кг, скорость, м/с и число лифтов, шт.

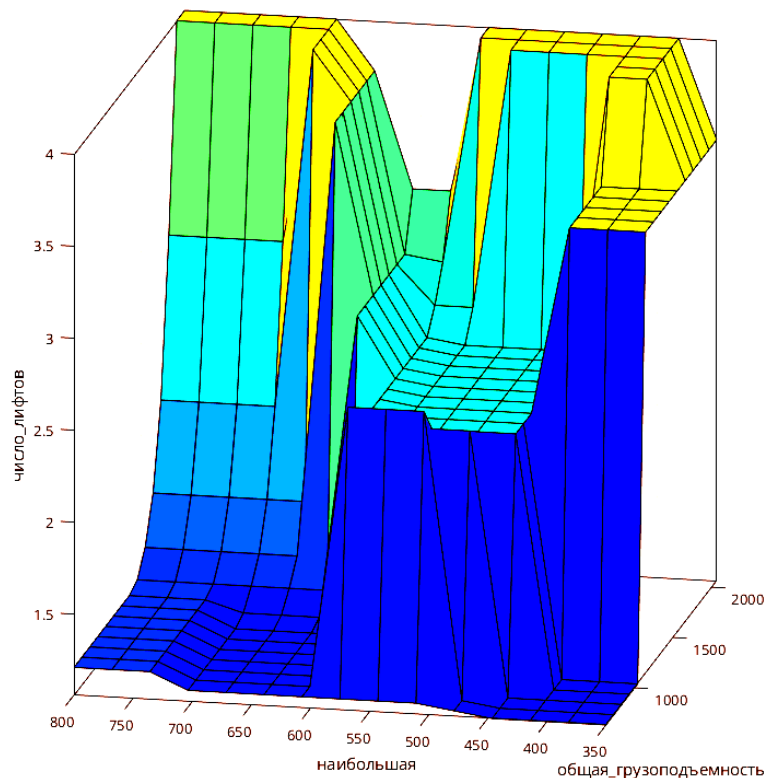


Рис. 2.7. Поверхность отклика переменных наибольшая поэтажная площадь квартир, m^2 , общая грузоподъемность, кг, и число лифтов, шт.

Анализ взаимозависимости расчётных параметров модели оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов в виде поверхности отклика переменных приведены на

рис. 2.8-2.9 и содержат переменные средняя площадь комнаты, количество квартир на этаже и инвестиционная привлекательность. На вход ЭС принимает следующие параметры: количество квартир в доме, площадь комнаты, средняя площадь кухни, высота потолков.

Предложенный аналитический индикатор представляет собой инструмент, который может быть применён на различных этапах проектного процесса. На первоначальном этапе инвестиционной оценки он позволяет провести комплексную оценку рыночной привлекательности и инвестиционной целесообразности планируемого к постройке объекта недвижимости. В дальнейшем, на стадии технико-экономического обоснования жилого комплекса, данный показатель способствует оценке его экономической эффективности, что, в свою очередь, повышает точность прогнозирования финансовых результатов проекта.

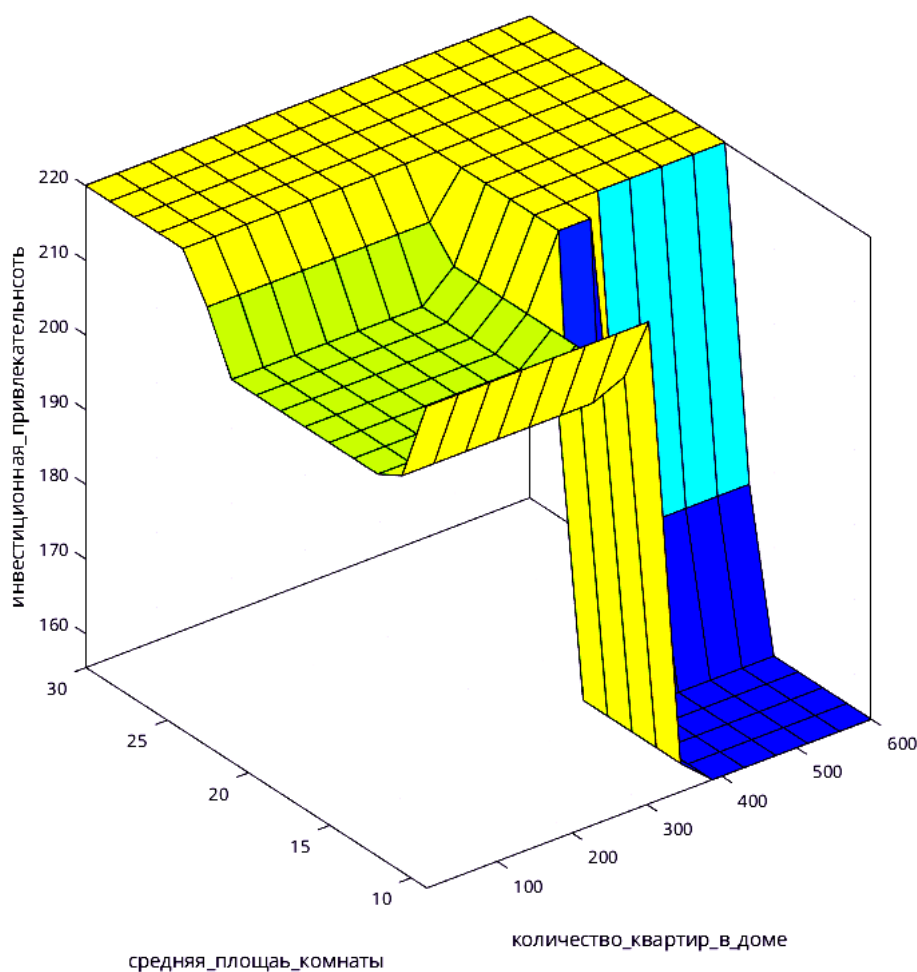


Рис. 2.8. Поверхность отклика переменных средняя площадь комнаты, м^2 , количество квартир в доме, шт. и инвестиционная привлекательность, млн. руб.

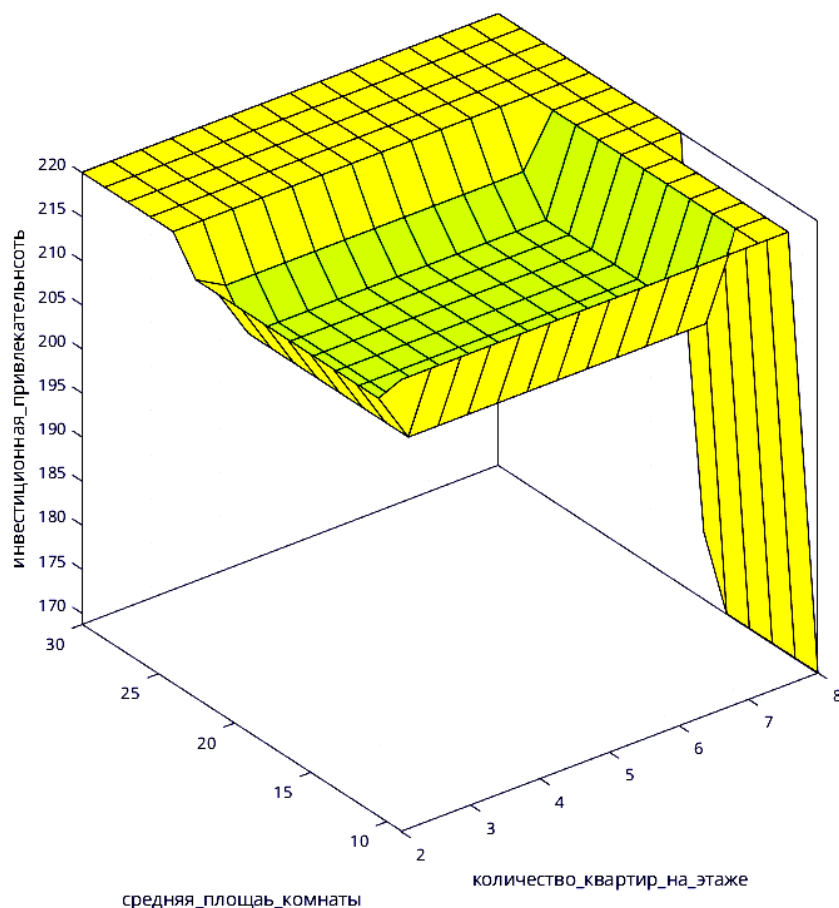
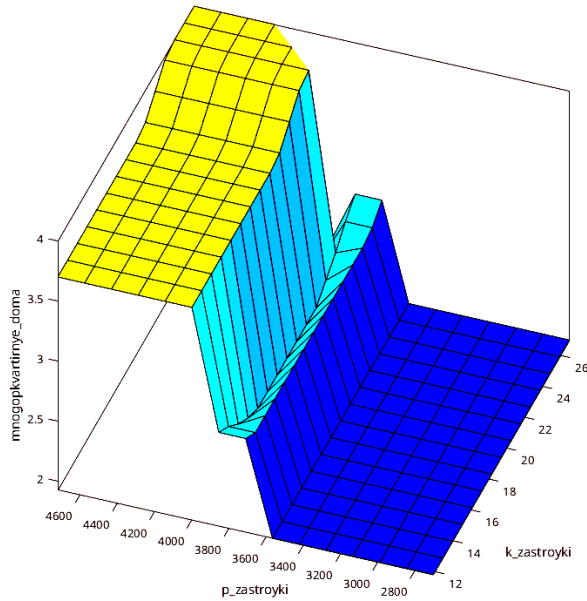
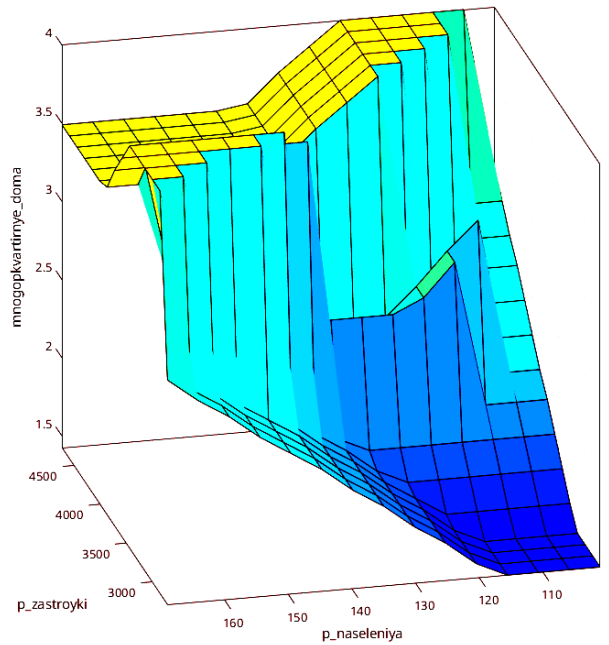


Рис. 2.9. Поверхность отклика переменных средняя площадь комнаты, м^2 , количество квартир на этаже, шт. и инвестиционная привлекательность, млн. руб.

Анализ взаимозависимости расчётных параметров модели оценки количества этажей для автоматизированной посадки застройки на земельный участок в виде поверхностей отклика переменных коэффициент застройки жилыми домами, плотность застройки жилыми домами, этажность жилого дома и плотность населения для различных вариантов строительства (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов и жилых районов, блокированные жилые дома, для жилых районов и кварталов) приведены на рис. 2.10-2.12. ЭС может использоваться как для подбора вариантов зданий для конкретного земельного участка, так и для оценки соответствия выбранного здания градостроительным, проектным, продуктовым и другим характеристикам. Разработанная экспертная система представляет собой многофункциональный инструмент, который может быть применён как для разработки архитектурных концепций, адаптированных к конкретным характеристикам земельного участка, так и для комплексной оценки соответствия проектируемого здания ряду критериев, включая градостроительные, проектные, продуктовые и иные параметры. Данный подход позволяет осуществлять детальный анализ и оптимизацию проектных решений, обеспечивая их соответствие актуальным нормативным требованиям и стандартам.



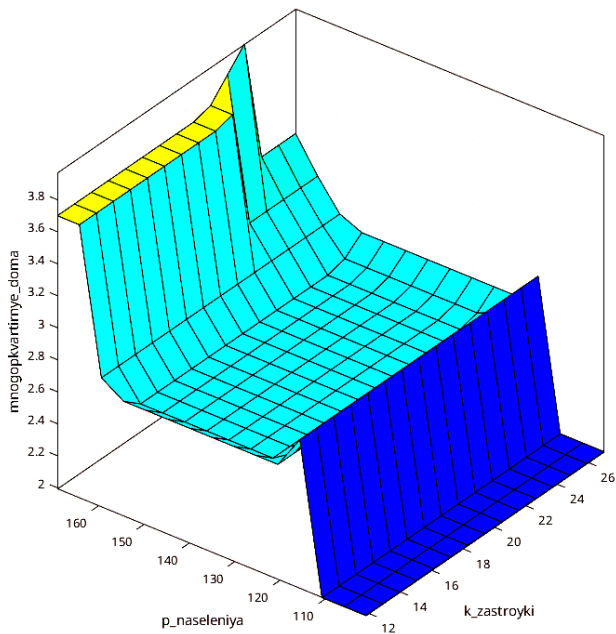
(a)



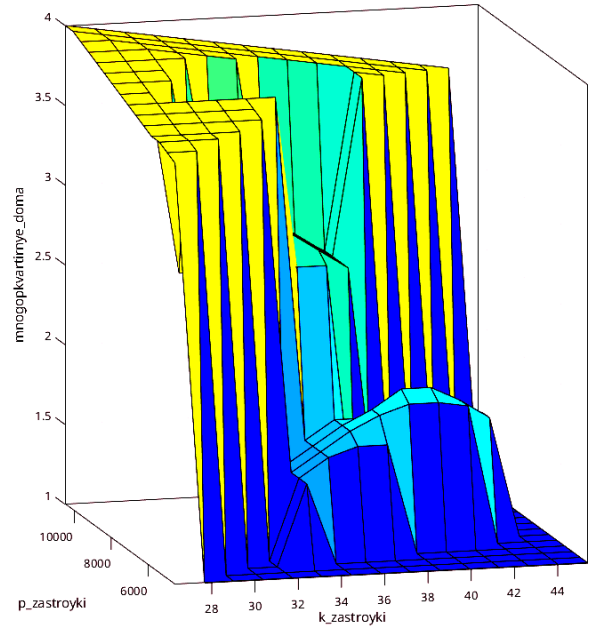
(б)

Рис. 2.10 (а). Поверхность отклика переменных коэффициент застройки жилыми домами, %, плотность застройки жилыми домами, этажность жилого дома, число этажей (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов);

(б) – поверхность отклика переменных плотность населения, чел/га, плотность застройки жилыми домами, чел/га, этажность жилого дома, число этажей (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов)



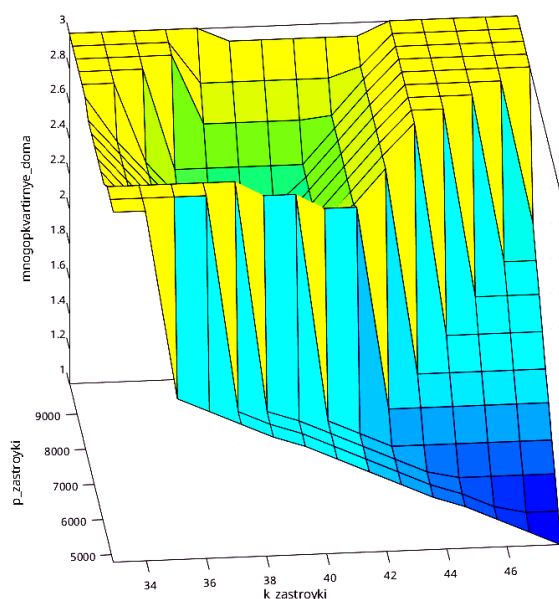
(a)



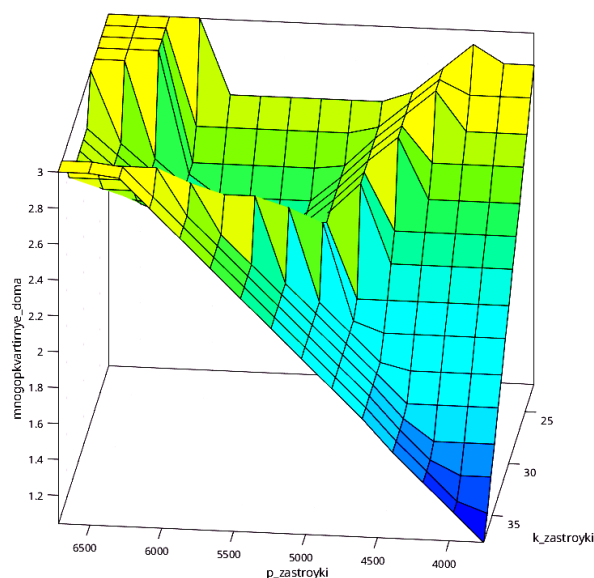
(б)

Рис. 2.11 (а). Поверхность отклика переменных плотность населения, чел/га, коэффициент застройки жилыми домами, %, этажность жилого дома, число этажей (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов);

(б) – поверхность отклика переменных плотность застройки жилыми домами, чел/га, коэффициент застройки жилыми домами, %, этажность жилого дома, число этажей (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов)



(a)



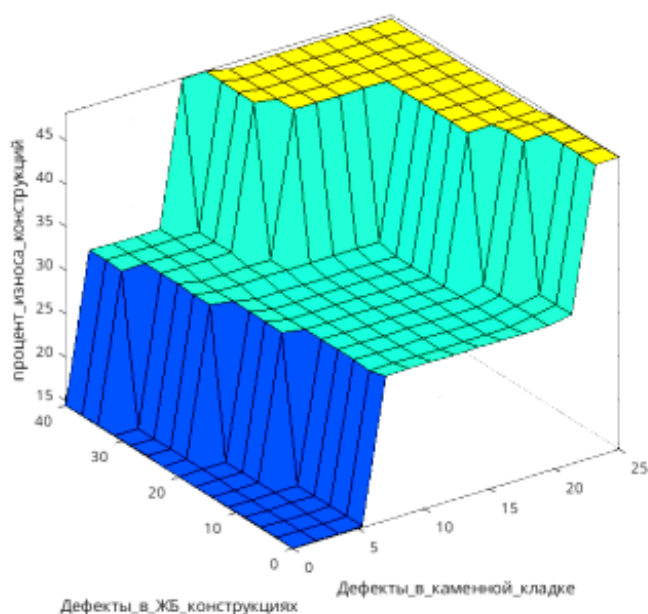
(б)

Рис. 2.12 (а). Поверхность отклика переменных плотность застройки жилыми домами, коэффициент застройки жилыми домами, %, этажность жилого дома, число этажей (блокированные жилые дома, для жилых районов);

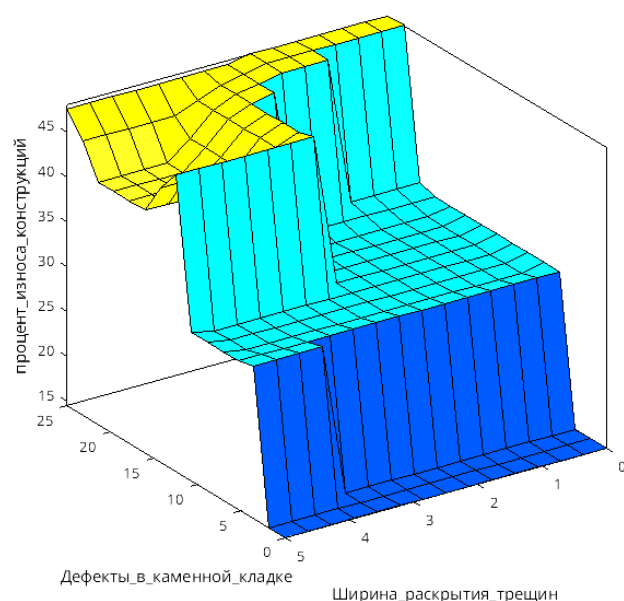
(б) – поверхность отклика переменных плотность застройки жилыми домами, коэффициент застройки жилыми домами, %, этажность жилого дома, число этажей (блокированные жилые дома, для кварталов)

Взаимозависимости расчётных параметров модели оценки технического состояния зданий по внешние признаки результата предварительного обследования в виде функций поверхности отклика, отображающих взаимозависимость переменных дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, дефекты в железобетонных конструкциях, ширина раскрытия трещин в наружных стенах, сдвиги и трещины в перекрытиях и процент износа конструкций приведены на рис. 2.13-2.14.

Взаимозависимость расчётных параметров модели оценки технического состояния зданий, основанная на внешних признаках, полученных в результате предварительного обследования, может быть представлена в виде функций поверхности отклика. Эти функции демонстрируют нелинейные взаимосвязи между различными дефектами и уровнем износа конструкций. Графическое представление этих взаимозависимостей позволяет интерпретировать результаты математического анализа и при работе с экспертной системой принимать обоснованные экспертными знаниями решения по техническому обслуживанию и ремонту зданий.

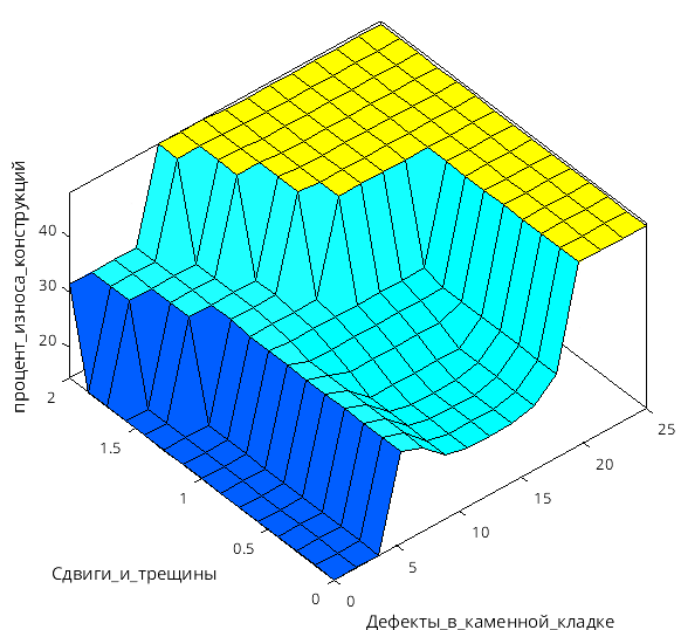


(a)

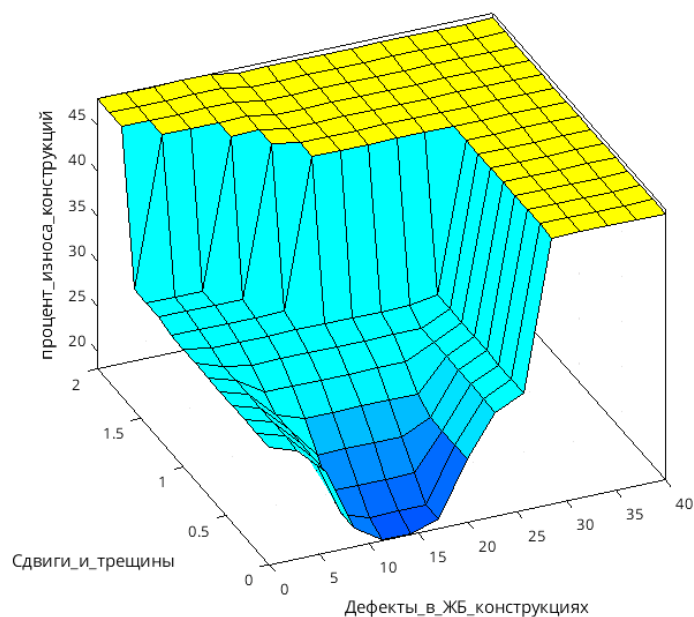


(б)

Рис. 2.13 – Взаимозависимость переменных (проекция поверхности отклика)
 (а) – дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см, дефекты в ЖБ конструкциях, %, процент износа конструкций, %; (б) – дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см, ширина раскрытия трещин в наружных стенах, мм, процент износа конструкций, %



(a)



(б)

Рис. 2.14 — Взаимозависимость переменных (проекция поверхности отклика)
 (а) – сдвиги и трещины в перекрытиях, см, дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см, процент износа конструкций, %; (б) – сдвиги и трещины в перекрытиях, см, дефекты в ЖБ конструкциях, %, процент износа конструкций, %

Функциональная зависимость расчётных параметров модели вычисления ориентации здания по сторонам света для выполнения условий инсоляции в виде функций поверхности

отклика, отображающих взаимосвязь переменных количество комнат, географическая широта, направление оси окна в секторах с азимутом, среднегодовая инсоляция и направление оси окна в секторах с азимутом продемонстрирована на рис. 2.15 и 2.17. Выполнение экспертных рекомендаций и гигиенических требований по инсоляции способствует повышению класса и инвестиционной привлекательности многоквартирных домов.

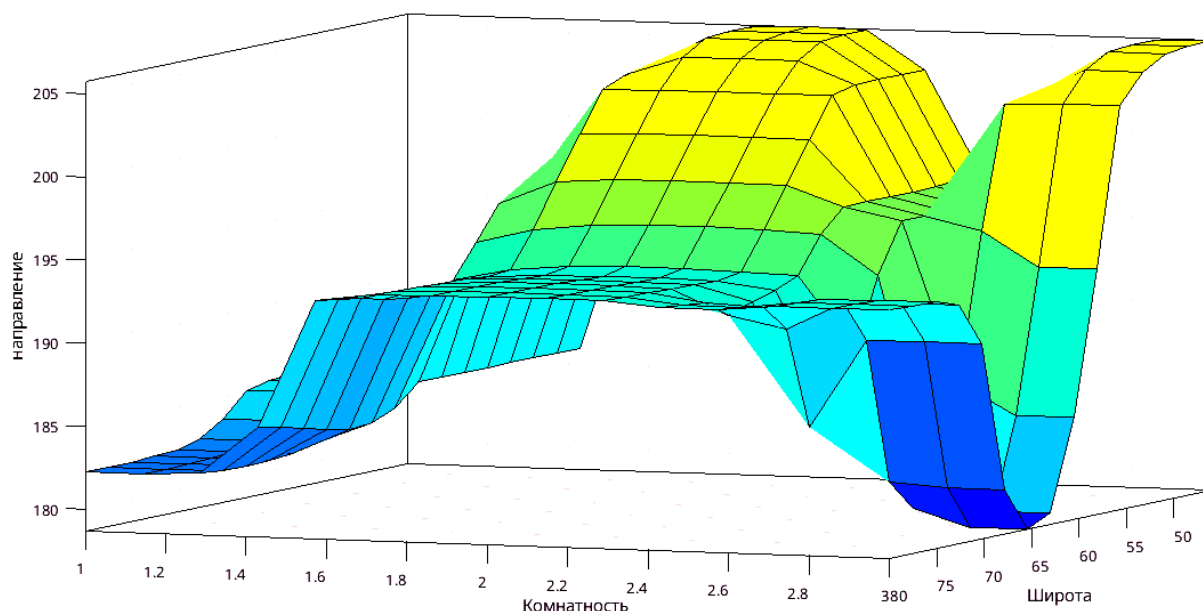


Рис. 2.15. Поверхность отклика переменных количество комнат, шт., географическая широта, град, направление, град

Рассмотрим функциональные зависимости расчётных параметров модели индекса привлекательности строительства. Функция поверхности отклика переменных высота здания, полезная площадь и индекс привлекательности строительства приведена на рис. 2.16. Алгоритм учитывает отношения продаваемой площади квартир к общей суммарной поэтажной площади. На рис. 2.18 представлена одна из функций проекции отклика экспертной системы, учитывающей данные ДЗЗ, а именно активность использования автомобильных дорог в рассматриваемом районе строительства.

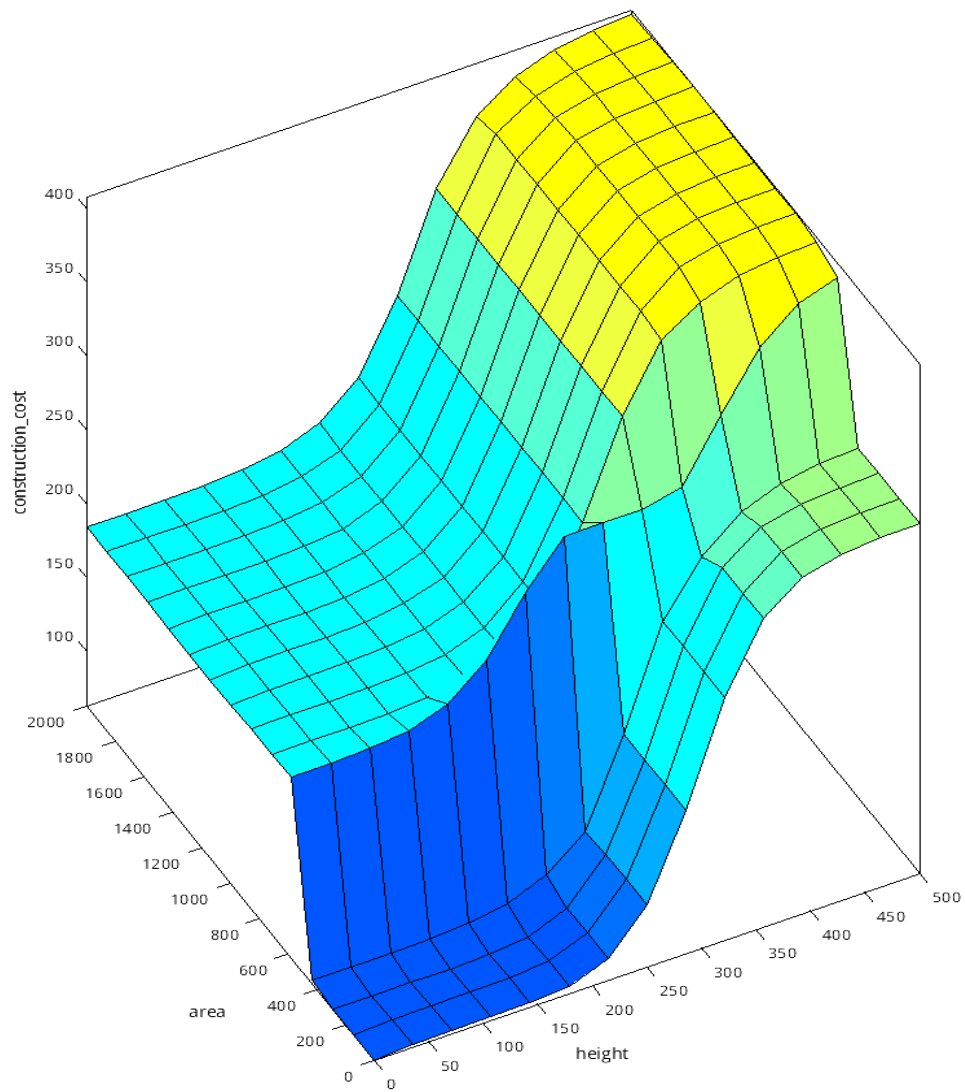
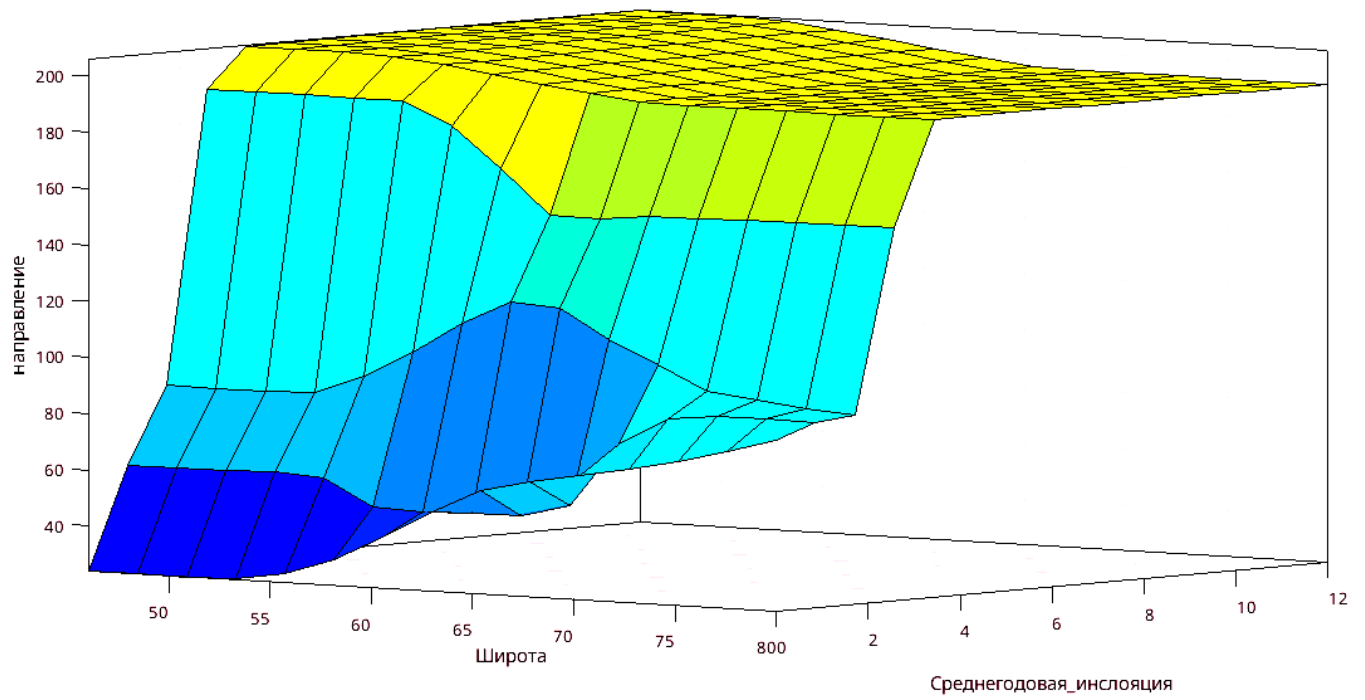
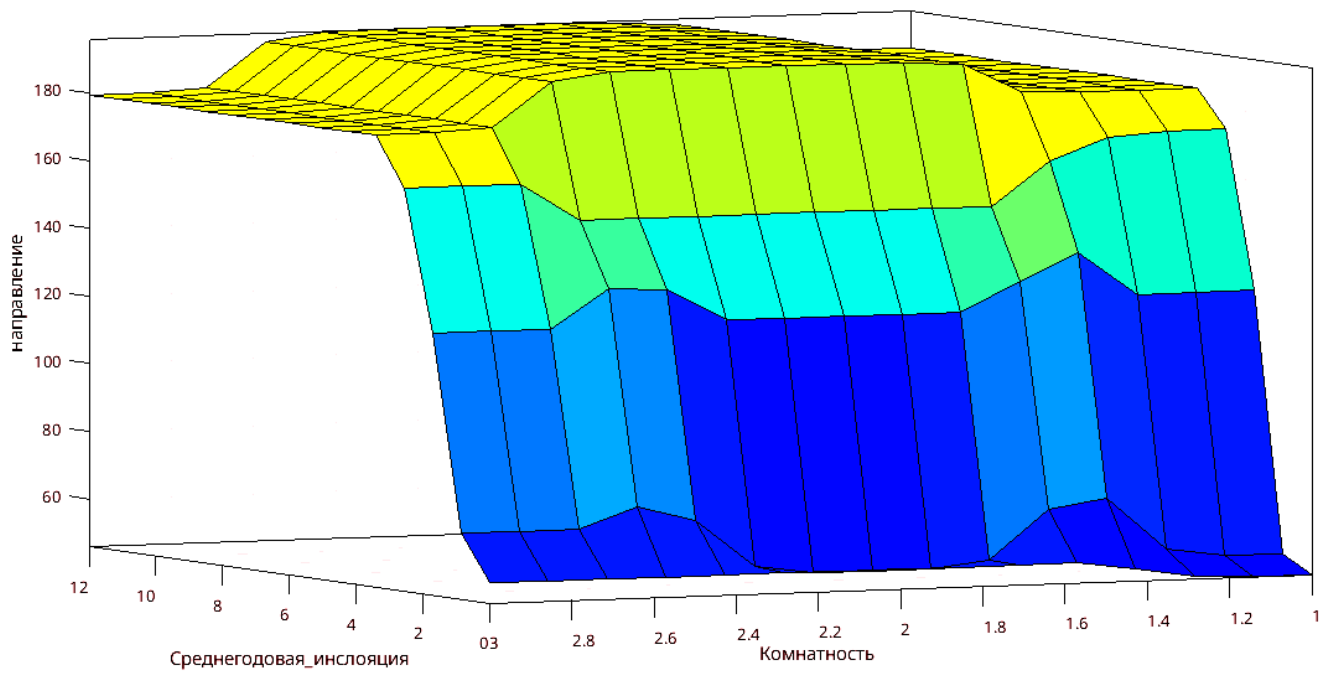


Рис. 2.16. Функция поверхности отклика переменных высота здания, м, полезная площадь и индекс привлекательности строительства млн. руб.



(a)



(б)

Рис. 2.17. (а) – Поверхность отклика переменных количество комнат, шт., среднегодовая инсоляция, час / сут, направление оси окна в секторах с азимутом, град.;
 (б) – поверхность отклика переменных количество комнат, шт., среднегодовая инсоляция, час / сут, направление оси окна в секторах с азимутом, град.

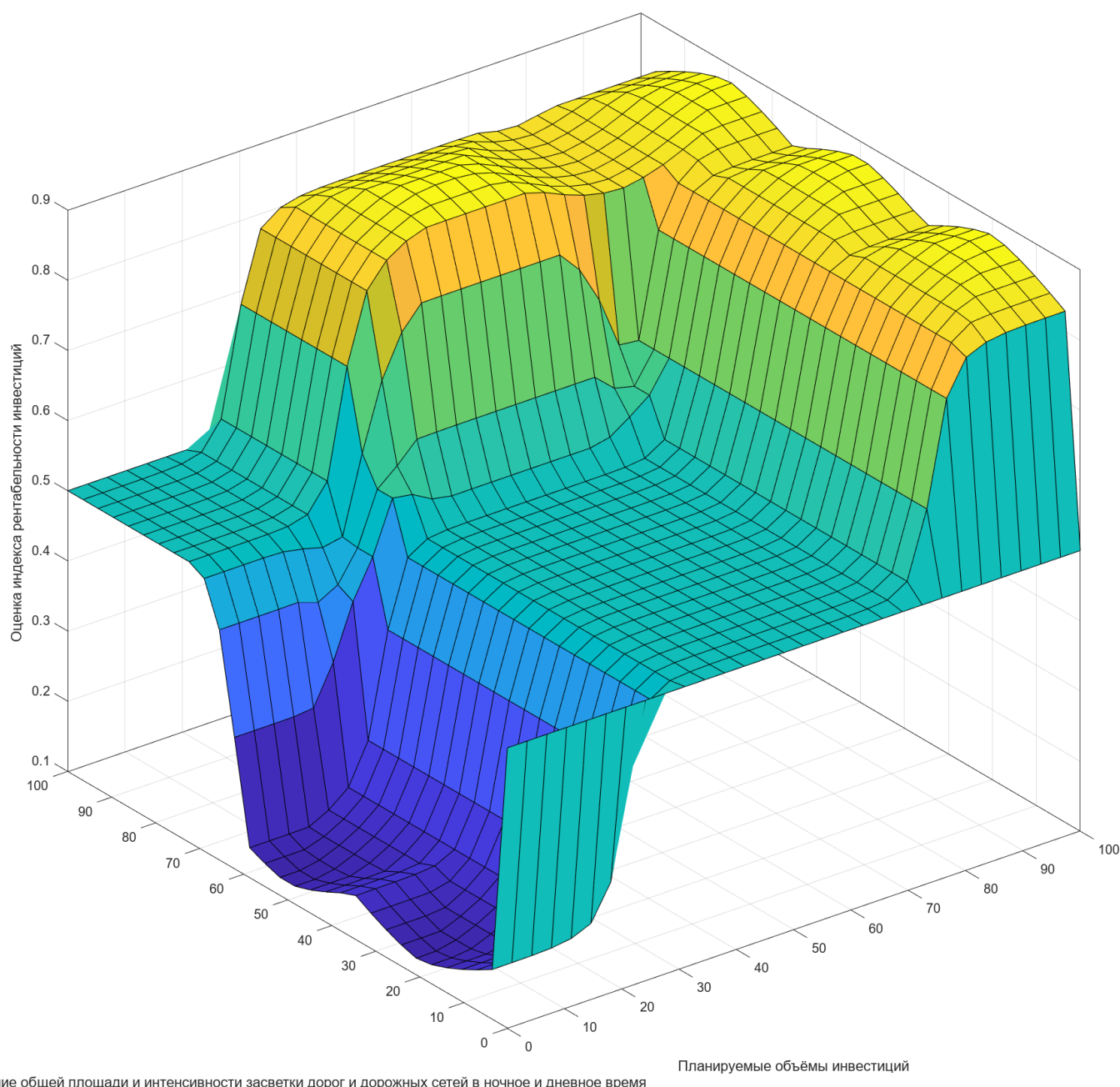


Рис. 2.18. График функции Зповерхности отклика переменных инфраструктурная активность, динамика строительства и прогноз окупаемости (а); планируемые инвестиции, интенсивность использования дорог и индекс рентабельности (б)

Использование технологии нечётких баз знаний позволяет описывать различные сценарии градостроительного проектирования и формулировать правила для поддержки принятия решений на основе экспертных знаний и актуальных данных дистанционного зондирования различных регионов России. Исследование позволяет выработать рекомендации в области проектирования многоэтажного жилого строительства, а также повысить качество и долговечность современных жилых комплексов.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. На основе анализа нормативных документов, регламентирующих технические требования, определены основные проектные характеристики многоквартирных жилых домов, оказывающие существенное влияние на посадку жилых зданий.
2. Определены параметры оценки технического состояния и инвестиционной привлекательности многоквартирных жилых домов на основе регулирующих документов и правил. Эти параметры применены для создания экспертной системы по расчёту количества лифтов и микроклимата помещений в соответствии с нормами инсоляции, параметрами технического состояния несущих конструкций, а также для строительства жилых многоэтажных зданий на основе расчёта относительной площади инженерных коммуникаций.
3. Определены лингвистические переменные и функции принадлежности для расчёта технического облика и проектных характеристик многоквартирных домов на стадии подготовки к строительству.
4. Разработаны входные и выходные параметры для каждой подсистемы логического вывода и установлены логические взаимосвязи между переменными в виде правил логического вывода в базе знаний. Математическая модель посадки зданий и сооружений на заданном земельном участке строительства включает параметры инсоляции, окружающей застройки и другие характеристики строительного объекта.
5. Определены правила и области применения системы логического вывода для разработки прототипа экспертной системы, учитывающей данные ДЗЗ для поддержки принятия инвестиционных решений в области малоэтажного и многоэтажного жилищного строительства в различных регионах России.
6. На основе данных ДЗЗ разработана база правил, предусматривающая различные сочетания условий, учитывающих оценку потребления электроэнергии, активность транспорта, интенсивность застройки на анализируемом участке, а также природно-климатические факторы.
7. Реконструированы поверхности отклика и установлены количественные зависимости между входными и выходными переменными в каждой подсистеме базы знаний экспертной системы, определены зависимости выходных параметров с основными параметрами итоговой модели.

ГЛАВА 3

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1. ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

Программная реализация ЭС построена на алгоритмах и методах, обеспечивающих поддержку принятия решений на основе разработанных математических моделей. Организация программного кода позволяет предусмотреть возможность расширения базы знаний за счёт унифицированных методов программного синтаксиса для описания знаний в экспертной системе. Модульный принцип организации обеспечивает добавление модулей и функций без необходимости переписывать код, упрощая обслуживание и обновление программного обеспечения для расширения функциональности экспертной системы.

Следует отметить, что при эквивалентном наборе правил в базе знаний, многомодульная архитектура является более выгодной по сравнению с одномодульной, так как в таком подходе каждый модуль имеет индивидуальный алгоритм дефаззификации [59]. Таким образом, многомодульная архитектура базы знаний позволяет более точно и гибко подстраивать выходные значения под каждую проблемную область в сфере строительства. Модульный принцип организации ПО предусматривает также возможность интеграции экспертной системы с другими программными продуктами и системами обмена данными (в т.ч. системами автоматизированного проектирования и системами управления проектами), что устраняет необходимость ручного ввода данных, повышая эффективность процесса проектирования в строительстве многоквартирных жилых домов. Масштабируемость программного кода обеспечивает способность рассчитывать характеристики многоквартирных жилых домов и строительные проекты различной сложности.

3.1.1. ОБЩАЯ СТРУКТУРА ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА

Экспертная система состоит из следующих функциональных элементов: база знаний на основе нечёткой логики, которая связана с узкоспециализированной проблемной областью строительства, блок приобретения знаний, система логического вывода и пользовательский

интерфейс. Система логического вывода обладает интерпретатором, который отличает экспертные системы от нейронных сетей. Посредством интерфейса пользователь получает доступ к знаниям и может интерпретировать полученные ответы экспертной системы в соответствии с правилами логического вывода. Обобщённая структурная схема экспертной системы представлена на рисунке 3.1.

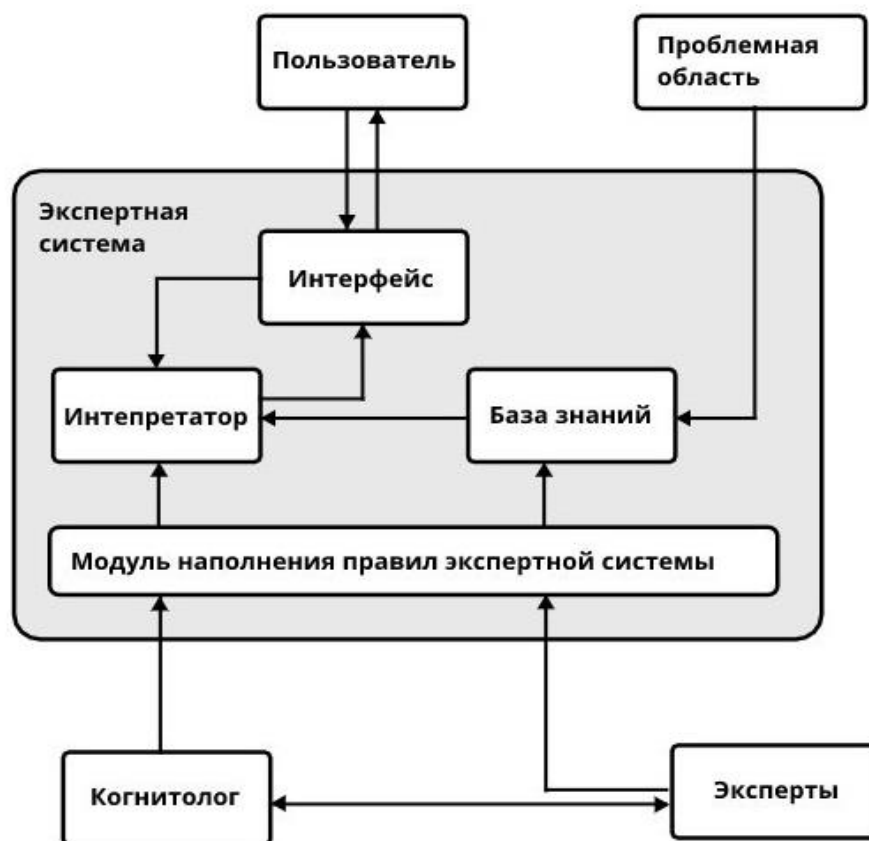


Рис. 3.1 – Обобщённая структурно-функциональная схема экспертной системы

Построение экспертной системы является итерационной процедурой, в которой когнитолог (инженер по знаниям), взаимодействуя с экспертами, итеративно пополняет базу знаний, поддерживая экспертную систему в актуальном состоянии [193].

Этот процесс реализуется методами инженерии знаний, в соответствии с которыми процесс создания экспертной системы начинается с определения требований к ЭС, анализа данных из открытых источников, сбора знаний для определения необходимых характеристик объектов, задач, типов пользователей и пр. Для организации работы экспертной системы был разработан алгоритм, представленный на рис. 3.2.

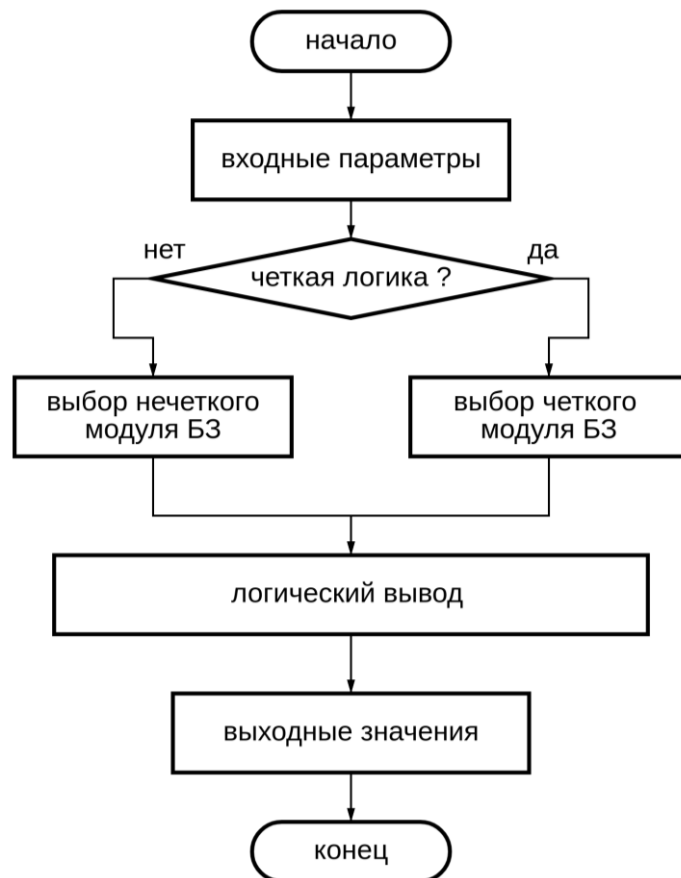


Рис. 3.2. Алгоритм функционирования экспертной системы поддержки принятия инженерных решений в области строительства

Особенностью алгоритма является отсутствие циклов, так как все входные значения преобразуются в выходные посредством системы логических правил, содержащейся в базе знаний. Это делает алгоритм эффективным и детерминированным, гарантируя, что выходные значения будут получены за один проход. Детерминизм алгоритма функционирования ЭС обуславливает независимость результатов от порядка ввода входных значений и других факторов. Помимо отсутствия циклов алгоритм характеризуется высокой скоростью работы и наличием функциональной зависимости между входными значениями и результатами вычислений.

Экспертная система оперирует числовыми значениями на входе и выходе, что позволяет формализовать взаимосвязи между концептами в специализированных предметных областях посредством формальных методов. Эти методы, не требующие применения дифференциальных уравнений, базируются на теории нечётких множеств, обеспечивающих гибкость и адаптивность в условиях неопределённости. На вход системы подаются чёткие значения входных переменных, которые затем преобразуются в дефаззифицированные значения нечётких переменных. Эти значения, в свою очередь, трансформируются в чёткие числовые результаты, соответствующие функциональным блокам, представленным на рис. 3.3.

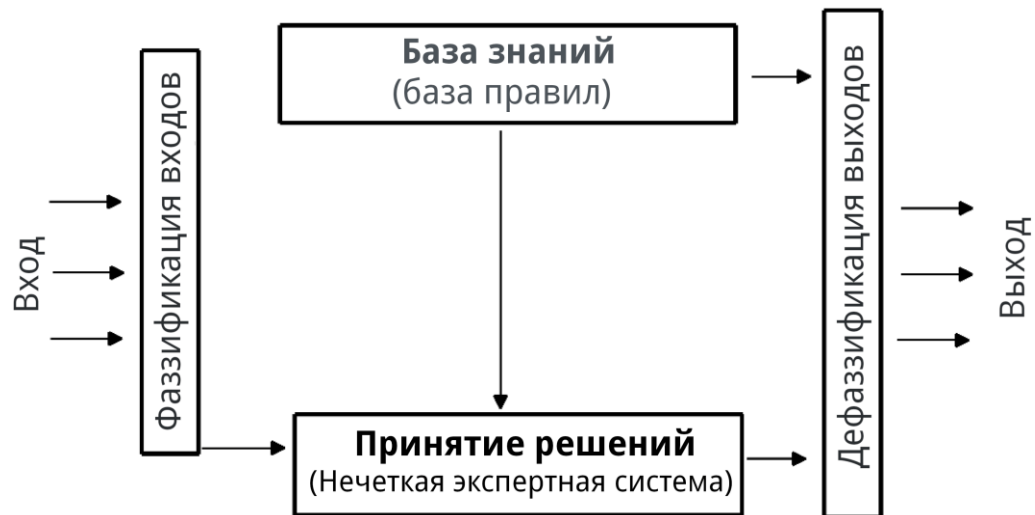


Рис. 3.3. Взаимосвязь основных функциональных блоков экспертной системы поддержки принятия инженерных решений

Экспертная система имеет способность обрабатывать и интерпретировать информацию в сложных и динамичных условиях. Приведённый ниже алгоритм позволяет систематизировать и использовать экспертные знания для определения технического облика и проектных характеристик многоквартирных домов на ранних этапах проектирования, что способствует принятию обоснованных и качественных решений в строительстве.

1. Определение ключевых параметров и критериев, которые будут использоваться для оценки технического облика и проектных характеристик домов на этапе подготовки к строительству.
2. Создание нечётких правил, которые описывают взаимосвязи между параметрами и критериями оценки (эти правила должны отражать экспертное знание в области проектирования многоквартирных домов) и создание экспертной базы знаний на основе собранной информации о требованиях, стандартах и практике проектирования многоквартирных жилых домов.
3. Проведение тестовых испытаний функционирования базы знаний в рамках экспертной системы, определение методов дефаззификации с корректировкой функций принадлежности и базы правил.
4. Ввод данных о проектируемом доме и характеристиках земельного участка для застройки и получение экспертных оценок о техническом облике и проектных характеристиках дома на основе определённых в экспертной системе параметров и критериев.
5. Анализ результатов оценки и принятие решений о дальнейших шагах в проектировании многоквартирного дома на стадии подготовки к строительству.

3.1.2. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ БЛОКИ

Обобщённая архитектура логического ядра экспертной системы поддержки принятия решений в области строительства схематически представлена на рис. 3.4. Она состоит из подсистем логического вывода, каждая из которых реализована на основе методов инженерии знаний и нечёткой логики. В разработанном прототипе ЭС используются разряженная (неполная) структура связей между входными параметрами и соответствующими им логическими модулями.

Разработанная база знаний состоит из следующих экспертно-аналитических модулей: ЭС расчёта параметров лифтового оборудования, ЭС расчёта ориентации здания по сторонам света в зависимости от параметров инсоляции, четыре ЭС расчёта количества этажей в разных условиях городской застройки, ЭС оценки технического состояния зданий и сооружений, ЭС оценки инвестиционной привлекательности строительных объектов, ЭС оценки индекса привлекательности строительства, ЭС оценки строительных проектов с учётом данных дистанционного зондирования. Создание автоматизированной экспертной системы и проведение тестовых испытаний её функционирования производилось в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений.

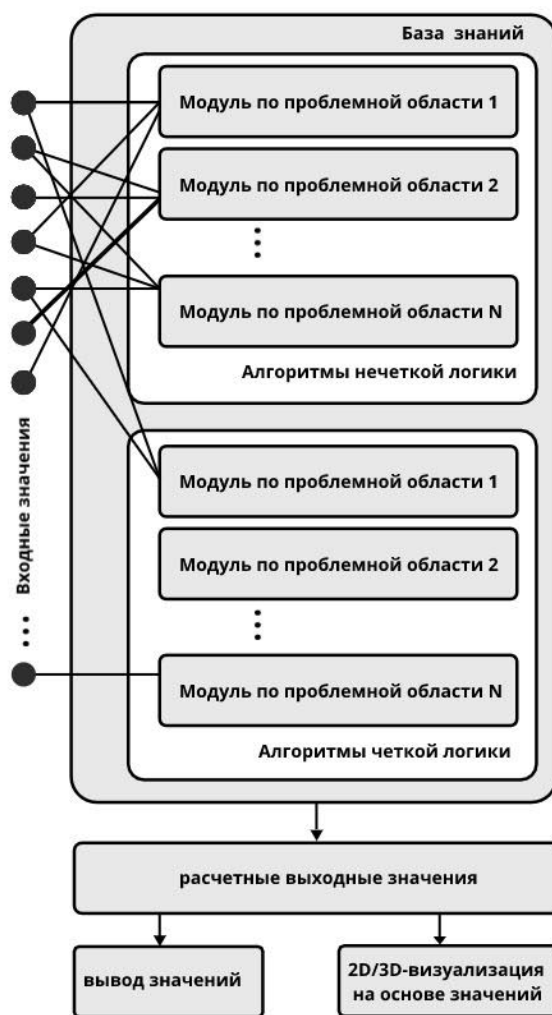


Рис. 3.4. Многомодульная архитектура базы знаний экспертной системы поддержки принятия инженерных решений

Разработанная система управления базой знаний является основой интеллектуального ядра информационной экспертной системы. Система логического вывода обеспечивает расчёт численных проектных характеристик многоквартирных строительных объектов. Посредством интерфейса пользователь получает доступ к экспертным знаниям и может интерпретировать полученные ответы в соответствии с содержимым БЗ и правилами логического вывода.

В общем случае одни и те же входные параметры могут соответствовать нескольким модулям как в формализме чёткой, так и в формализме нечёткой логики: часть входных переменных относится только к соответствующим им модулям, а часть может применяться более чем в одном модуле. После того, как по заданным входам определены модули логического вывода, на выход системы подаются рассчитанные выходные значения, доступные пользователю через интерфейс экспертной системы. В соответствии с разработанным алгоритмом по входным параметрам ЭС определяется вид логического вывода: чёткий, нечёткий или комбинированный (поддержка алгоритмов чёткой логики обусловлена необходимостью учёта строго регламентированных правил и ГОСТов, в частности, касающихся отступов зданий от соседних

строений, линий связи и коммуникации, деревьев и других регламентированных параметров и нормативов). По рассчитанным параметрам возможна визуализация пространственной модели посадки зданий.

Формат программного задания системы управления нечёткой базой знаний:

- имя лингвистической переменной с префиксом *_range* задаёт диапазон изменения и шаг соответствующей переменной;
- идентификаторы *ctrl.Antecedent()* и *ctrl.Consequent()* определяют входные и выходные переменные соответственно;
- конструкция вида *имя переменной ['название функции принадлежности'] = fuzz.gaussmf(имя переменной_range, a, b)* задаёт гауссовскую функцию принадлежности для лингвистической переменной с центром в точке *a* и шириной *b*. Для треугольных функций принадлежности предусмотрена функция *trimf*. Таким образом, задаются функции принадлежности переменных (параметры этих функций значительно влияют на работу экспертной системы);
- для просмотра заданных функций следует использовать команду: *имя переменной.view(); pl.show();*
- правила вывода имеют вид «если-то» и задаются в программе в формате: *ctrl.Rule(переменная1['значение'] & переменная2['значение'], выходная переменная['значение'])*, где знак *&* описывает условие «и» (для условия «или» можно формировать дополнительные отдельные правила).

После строки «*if __name__ == '__main__':*» следуют методы визуализации двумерных проекций поверхности отклика для отладки экспертной системы. На рис. 3.5 показан пример функций принадлежности одной из переменных экспертной системы, созданной на языке программирования Python. Фрагмент листинга программного кода базы знаний по расчёту количества этажей в строительном объекте приведён ниже.

```
import numpy as np
import pylab as pl
import skfuzzy as fuzz
from skfuzzy import control as ctrl
sg_range=np.arange(0, 4, 0.1)
...
sg = ctrl.Antecedent(sg_range, 'sg')
sh = ctrl.Antecedent(sh_range, 'sh')
kt = ctrl.Antecedent(kt_range, 'kt') # Auto-membership #kz.automf(3, names = ['1',
'2','3'])
```

```

ins1 = ctrl.Consequent(ins1_range, 'ins1') # Auto-membership #kz.automf(3, names =
['1', '2', '3'])
ins2 = ctrl.Consequent(ins2_range, 'ins2') #
...
sg['1'] = fuzz.gaussmf(sg_range, 0, 0.65) # [0.65 0]          '0-1':
...
ins1['1'] = fuzz.gaussmf(ins1_range, 105, 10) # '85-135': 'gaussmf', [12.5 105.19]
...
fuzzy_system = ctrl.ControlSystem([
ctrl.Rule(sg['5'] & sh['3'] & kt['1'], ins1['15']),
ctrl.Rule(sg['5'] & sh['3'] & kt['2'], ins1['2']),
...
])
fuzzy_simulation = ctrl.ControlSystemSimulation(fuzzy_system)

if __name__ == '__main__':
    sg.view()
    sh.view()
    kt.view()
    ins1.view()
    ins2.view()
    pl.show()
    # Set input values
    fuzzy_simulation.input['kz'] = 50
    fuzzy_simulation.input['pz'] = 7000
    fuzzy_simulation.compute()
    out = fuzzy_simulation.output['e']
    print(out)
    outs=[]
    for i in kz_range:
        fuzzy_simulation.input['pz'] = 10
        fuzzy_simulation.input['kz'] = i
        fuzzy_simulation.compute()
        outs.append(fuzzy_simulation.output['e'])

```

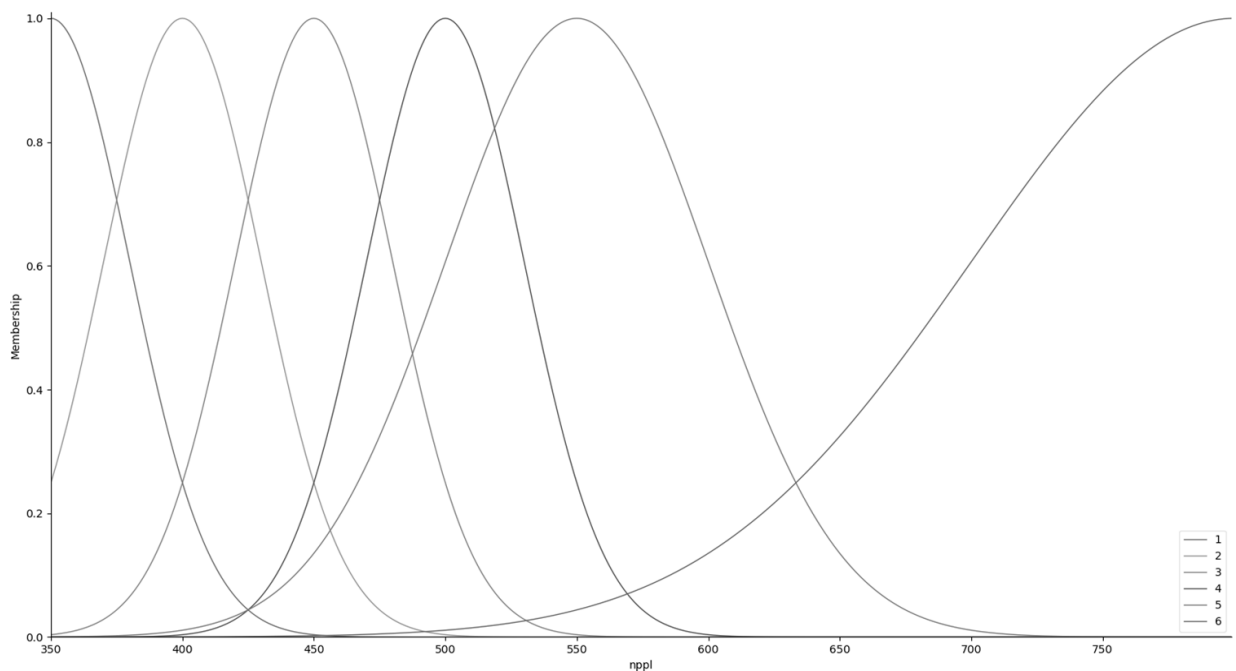


Рис. 3.5. Пример функций принадлежности лингвистической переменной, реализованной на языке Python

Количественные взаимосвязи между лингвистическими переменными имеют нелинейный характер, который обусловлен формой кривых, задающих функции принадлежности лингвистических переменных. Эти функции были заданы так, чтобы итоговые кривые поверхности отклика отражали требуемые экспертные знания. При задании функций принадлежности применялось функциональное программирование, определяющее вычисления как математические выражения. При работе с целочисленными значениями (количество комнат, этажей, количества лифтов и пр.) полученные значения округлялись до целого числа.

Для описания вычислительной задачи в терминах логических отношений использовалось декларативное программирование, которое используется в системах искусственного интеллекта. Также, при разработке БЗ применялось логическое программирование в качестве основного механизма обеспечения взаимодействия фактов и правил, использовались методы объектно-ориентированного программирования (ООП) для возможности повторного использования кода с соблюдением принципов инкапсуляции и полиморфизма.

Листинг программы расчета индекса привлекательности строительства жилого многоэтажного здания в зависимости от его высоты и площади на основе базы правил и нечеткой логики на языке Matlab приведён ниже.

```
[System]
Name='Construction cost'
Type='mamdani'
```

Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=6
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]

Name='height'
Range=[0 500]
NumMFs=3
MF1='mid-rise': 'gaussmf',[106.2 75]
MF2='high-rise': 'gaussmf',[106.2 100]
MF3='skyscraper': 'gaussmf',[106.2 500]

[Input2]

Name='area'
Range=[0 2000]
NumMFs=2
MF1='small_area': 'trapmf',[-750 -83.4 83.4 550]
MF2='big_area': 'trimf',[550 1000 2500]

[Output1]

Name='construction_cost'
Range=[0 450]
NumMFs=6
MF1='cheap': 'trimf',[-60 75 100]
MF2='average': 'trimf',[100 110 120]
MF3='more__average': 'trimf',[120 135 150]
MF4='expensive': 'trimf',[150 200 250]
MF5='more__expensive': 'trimf',[250 300 350]
MF6='most_expensive': 'trimf',[350 400 500]

В результате проведённых исследований был создан прототип экспертной системы в виде программной платформы с удобным пользовательским интерфейсом. Прототипы расчётных модулей экспертной системы были созданы на языке MATLAB с использованием пакета FuzzyLogic Toolbox. Этот пакет предоставляет функции для определения входных и выходных переменных, функций принадлежности и правил логического вывода.

Для внедрения в практику разработанных экспертных систем был использован язык программирования Python, на котором помимо баз знаний был разработан графический пользовательский интерфейс. Данная программная реализация может запускаться в различных операционных системах.

Были использованы следующие библиотеки:

- Pylab для графического отображения результатов,
- Numpy для работы с массивами и матрицами,
- PySimpleGUI для создания графического пользовательского интерфейса,
- Skfuzzy для реализации нечёткой логики.

Разработка предназначена для решения комплексных проблем в области строительства, в том числе для управления рисками в проектах, обеспечения соответствия строительства нормам и правилам, для определения технического облика и проектных характеристик зданий на этапе подготовки к строительству.

Базы знаний хранятся в отдельных python-файлах, начинающихся с префикса *baza_*, которые можно использовать для редактирования правил вывода, лингвистических переменных и их функций принадлежности, а также для создания и отладки новых баз знаний для экспертных систем различного назначения. В соответствии с алгоритмом Mamdani и параметрами функций принадлежности лингвистических переменных были получены результаты логического вывода.

В таблице 3.1 представлена комплексная структура и параметры экспертной системы, разработанной для оценки проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии предпроектной подготовки и планирования строительства. Данная система интегрирует методы искусственного интеллекта и математического моделирования и позволяет проводить

всесторонний анализ проектных решений и определять ключевые параметры объектов жилой недвижимости.

В многомодульном подходе каждый модуль имеет индивидуальный алгоритм дефаззификации, поэтому при эквивалентном наборе правил в БЗ, разработанная многомодульная архитектура ЭС является более выгодной по сравнению с одномодульной, в которой база знаний представляет собой единый набор правил для логического вывода с общим алгоритмом дефаззификации.

Таблица 3.1 – Характеристики ЭС поддержки принятия решений в области строительства

Название подсистемы системы логического вывода			Кол-во правил	Кол-во входов	Кол-во функций	Алгоритм дефаззификации
ЭС трафик-анализа для подбора количества лифтов в жилой комплекс.						По элементу с наибольшей степенью принадлежности
ЭС оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов.						По элементу с наибольшей степенью принадлежности
ЭС поддержки и принятия решений при посадке объекта на земельный участок.	ЭС оценки количества этажей для посадки объекта на земельный участок.	Многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов				По элементу с наибольшей степенью принадлежности
		Многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов				По элементу с наименьшей степенью принадлежности
		Блокированные жилые дома, для кварталов				Геометрическая середина множества (Bisector)
		Блокированные жилые дома, для жилых районов				По элементу с наименьшей степенью принадлежности
	ЭС определения ориентации оси окна					Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
ЭС оценки категории состояния зданий по внешним признакам и результатам предварительного обследования						По элементу с наибольшей степенью принадлежности
ЭС оценки индекса привлекательности строительства						Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
ЭС поддержки принятия инвестиционных решений в строительстве на основе данных ДЗЗ	ЭС оценки индекса рентабельности инвестиций и инвестиционных рисков строительства объектов жилой застройки на основе региональных данных ДЗЗ					Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
	ЭС оценки инвестиционных рисков строительства жилых зданий на основе информации о развитии действующей инфраструктуры, полученной на основе данных ДЗЗ					Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
	ЭС оценки рентабельности инвестиций в строительство объектов жилой застройки рядом с дорожно-транспортной инфраструктурой					Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
	ЭС оценки инвестиционных рисков при строительстве объектов жилой застройки на основе данных по климатическим и геофизическим факторам					Среднее взвешенное значение всех элементов (центр тяжести,
Всего:						

Тестовые испытания разработанной экспертной системы производились в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений — программной платформы моделирования нечёткой логики системы Matlab (пакет Fuzzy Logic Toolbox). Результаты тестовых испытаний показали, что все переменные находятся в заданных диапазонах значений, а их изменения и численные взаимосвязи соответствуют заданной базе знаний.

В рамках диссертационного исследования на основе разработанной структуры базы знаний для каждой подсистемы логического вывода были заданы входные и выходные значения. Таким образом, с учётом экспертных знаний о каждой предметной области для этих переменных были подобраны функции принадлежности. В результате всестороннего анализа различных проблемных областей строительства, связанных с посадкой зданий и определения их технических и экономических показателей, были реконструированы поверхности отклика и определены количественные зависимости между входными и выходными переменными.

Многомодульная архитектура БЗ позволила гибко настроить выходные значения под каждую вычислительную задачу. Методы дефаззификации выбирались для получения поверхностей отклика, описывающих соответствующие предметные области и задающих требуемый диапазон знаний выходных переменных. Выбранные методы дефаззификации нечётких выходных значений для каждого расчётного модуля приведены в таблице 3.1.

Как видно из анализа функций поверхности отклика (рис. 2.5-2.18) количественные взаимосвязи между лингвистическими переменными обладают выраженным нелинейным характером, можно наблюдать локальные экстремумы функций. Это связано с параметрами кривых, которые задают функции принадлежности лингвистических переменных. Данные экстремумы можно отнести к артефактам логического вывода, связанными с формой функций принадлежности. Следует отметить, что в разработанном прототипе ЭС не все локальные экстремумы поверхностей отклика полностью отразили специфику проблемной области, что свидетельствует о необходимости пополнения БЗ уточнёнными правилами, отражающими экспертные знания.

Экспериментальные исследования на основе разработанного интерфейса с расчётом характеристик БЗ были использованы для анализа и настройки экспертной системы, а также для дальнейшего развития и совершенствования экспертно-аналитических функций разработанного программного инструментария.

3.1.3. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

Была разработана усовершенствованная платформа «ПрогрессСтройЭксперт» с пользовательским интерфейсом на языке Python, включая две многопрофильные экспертно-

аналитические системы, объединяющие в себе группы экспертных модулей по назначению: «Посадка» (интерфейс на рис. 3.6) и «Оценка» (интерфейс на рис. 3.7). После выбора входных значений в соответствующем модуле следует нажать кнопку «Рассчитать» для получения результатов расчёта.

Интерфейс экспертной системы представляет собой комплексную систему инструментов и функций, обеспечивающих взаимодействие пользователя с системой. В его состав входят формы для ввода параметров проекта, а также дополнительные модули для визуализации результатов. Интерфейс программного обеспечения был разработан с учётом принципов эргономики, что позволяет обеспечить максимальную интуитивность и удобство для конечных пользователей. Система предоставляет возможность ввода исходных данных и получения результатов расчётов в режиме реального времени, что повышает эффективность использования программного продукта.

Для ввода входных данных пользователь должен использовать ползунковые элементы управления, позволяющие осуществлять плавное изменение значений и, соответственно, осуществлять подбор параметров для достижения необходимых результатов. Такая структура пользовательского интерфейса значительно ускоряет процесс взаимодействия с экспертной системой, что, в свою очередь, способствует более оперативному выбору адекватного решения на предпроектной стадии строительства.

Высокая производительность программы обусловлена использованием эффективного алгоритма нечёткого логического вывода, что является ключевым преимуществом разработанного подхода по сравнению с методами машинного обучения (последние требуют значительных временных и аппаратных ресурсов для проведения вычислений и генерации рекомендаций и оценок, что ограничивает их применимость в задачах, требующих оперативной обработки данных).

Таким образом, интерфейс системы повышает эффективность пользовательского взаимодействия с экспертными модулями. Архитектура интерфейса основана на принципах юзабилити и когнитивной эргономики за счёт максимизации продуктивности взаимодействия с программным продуктом, что подтверждается результатами проведённых тестовых испытаний.

Экспертная система ПрогрессСтройЭксперт - ПОСАДКА

ЭС ВЫСОТНОСТЬ (на основании Постановления правительства Московской обл. от 26 июля 2022 г. N762/18)

плотность застройки жилыми домами, м2/га 5976

коэффициент застройки жилыми домами, % 22

плотность населения, чел/га 139

рассчёт этажности жилого дома

блокированные жилые дома, для кварталов : 2 эт., коэфф.: 1.938

блокированные жилые дома, для жилых районов : 3 эт., коэфф.: 2.639

многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов : 3 эт., коэфф.: 3.0

многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов : 1 эт., коэфф.: 1.378

Примечание: коэффициент предназначен для перерасчета высоты здания и высоты потолков.

ЭС ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ (на основании приложения А к ГОСТ Р 52941-200863)

этажность 7

общая грузоподъемность, кг 1583

скорость, см/с 178

наибольшая поэтажная площадь квартир, м2 479

рассчёт количества лифтов

число лифтов : 3

ЭС НАПРАВЛЕНИЕ (с учётом гигиенических требований к инсоляции и СанПин 1.2.685-21)

Среднегодовая инсоляция, час/сут 1

Географическая широта, град 56

Количество комнат 3

рассчёт направления оси окна

направление оси окна : 86 град.

альтернативное направление : 298 град.

Примечание: 0(360) градусов - север, 180 градусов - юг, 270 градусов - запад, 90 градусов - восток.

Рис. 3.6. Интерфейс экспертного модуля «Посадка»

Экспертная система ПрогрессСтройЭксперт - ОЦЕНКА

ЭС ИНВЕСТИЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЗДАНИЙ (с учетом данных компании «АСК»)

количество квартир в доме 205

количество квартир на этаже 4

средняя площадь квартиры, м2 89

средняя площадь комнаты, м2 14

средняя площадь кухни, м2 18

высота потолков, см 328

рассчёт инвестиционной привлекательности объекта

инвестиционная привлекательность : 141 млн. р

ЭС ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОГНОЗ и ОЦЕНКА РИСКОВ (ИПОР)

бюджет проекта, млн.р 173

доля капитала в данном проекте, % 42

расходы на данный проект, млн.р 25

уровень инфляции, % 16

инвестиционный прогноз

срок выхода на сверхприбыль : 25 мес.

коэффициент прибыльности : x 11

вероятность прогноза : 38 % (48 %).

ЭС ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЯ (на основании ГОСТ 31937-2011)

дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см 12

дефекты в ЖБ конструкциях, % 31

ширина раскрытия трещин в наружных стенах, мм 2

сдвиги и трещины в перекрытиях, мм 17

рассчёт износа конструкций

износ конструкций : 23 %.

Рис. 3.7. Интерфейс экспертного модуля «Оценка»

3.2. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ В СРАВНЕНИИ С ИМЕЮЩИМИСЯ АНАЛОГАМИ

Рассмотрим функциональные зависимости расчётных параметров модели индекса привлекательности строительства. Пример нечёткого логического вывода демонстрирует отношение высоты здания, составляющей 100 метров и общей продаваемой площади квартир, которая равна 600 квадратных метров для получения оценочной стоимости в размере 187 миллионов рублей (здесь важно отметить, что представленные расчётные показатели носят условный характер, так как они подвержены влиянию множества факторов, включая уровень инфляции и другие динамически изменяющиеся экономические параметры, которые требуют непрерывного мониторинга и корректировки). Схема вывода приведена на рис. 3.8, где в самом низу справа показан результат вычисления в виде специфической функции принадлежности. Этот пример демонстрирует важность выбора метода приведения к чёткости при вычислении итоговых числовых характеристик.

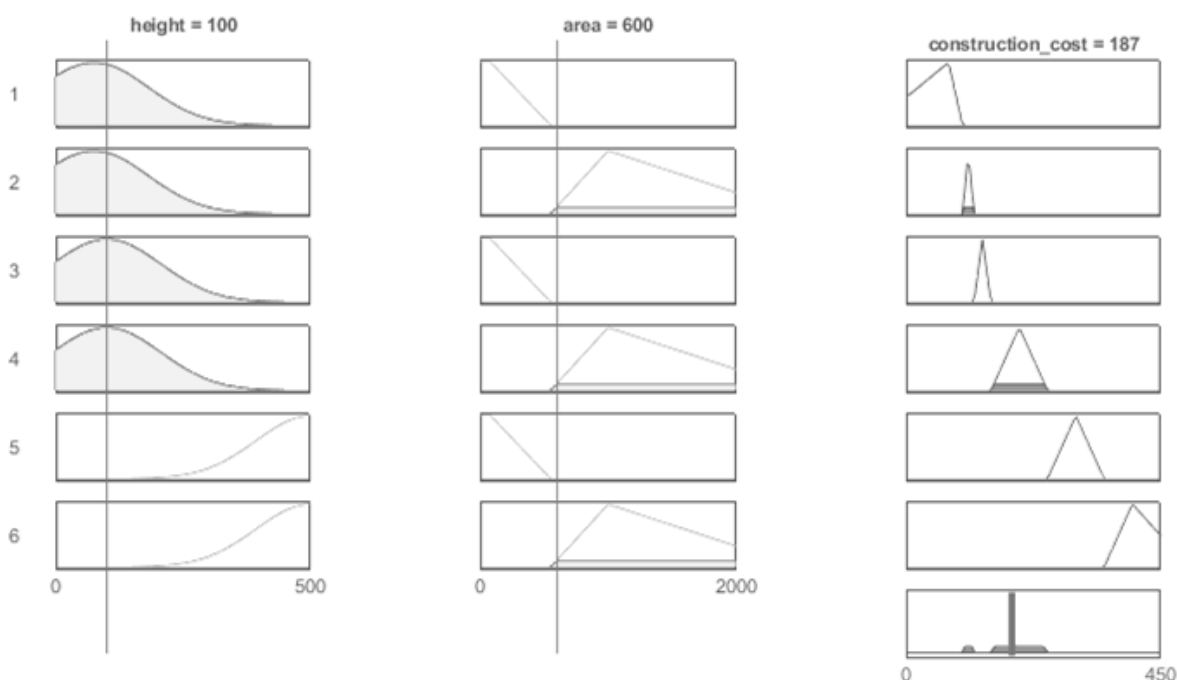


Рис. 3.8. Пример нечёткого логического вывода по алгоритму Mamdani с расчётом экономической привлекательности строительства жилого многоэтажного здания

В научной литературе наблюдается дефицит исследований, посвящённых комплексному анализу и систематизации проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии предпроектной подготовки и проектирования с применением экспертных систем. Этот пробел ограничивает возможности для разработки методологически обоснованных подходов к

оптимизации архитектурных, конструктивных и функциональных решений, что, в свою очередь, негативно сказывается на качестве и эффективности многих строительных проектов.

В Китае была опубликована статья [113] по процессам и методам оценки многоквартирных жилых зданий на основе систем машинного обучения. Правила оценки были сформулированы путём отбора ключевых показателей, влияющих на повышение качества эксплуатационных характеристик. На основе этих показателей были определены интенсивность ремонта, срок службы и тепловые характеристики здания. Модель позволила автоматически классифицировать степень старения фасадов жилых зданий и проводить масштабную и быструю оценку построенных жилых зданий. Однако, применённая система искусственного интеллекта обрабатывала данные для уже построенных жилых зданий, а не на предпроектном этапе.

В статье [123] представлены результаты анкетного опроса о факторах, влияющих на экономическую эффективность строительных проектов в Индии. Анализ ответов позволил выделить факторы успеха, к которым относится компетентность, координационные и лидерские качества руководителя проекта, обратная связь со стороны участников, координация между участниками проекта и климатические условия. Однако, в этой статье также не говорится о применении полученных знаний для создания интеллектуальных экспертных систем, призванных повысить эффективность строительных объектов на предпроектной стадии.

В статье [90] описаны аспекты распространения многоквартирных жилых зданий в нигерийском штате Анамбра (Нигерия). Данное распространение многоквартирных жилых зданий из-за растущего спроса без учёта эксплуатационных характеристик вызвало опасения по поводу экономической устойчивости этого типа жилья. В ходе исследования были анкетированы оценка восприятия окружающей среды жителями в значительной степени связана с их восприятием показателей экологической устойчивости, в то время как оценка жилищных объектов по соседству отрицательна и в значительной степени связана с восприятием жителями показателей экономической устойчивости. В статье сделан вывод о том, что инвесторам и владельцам многоквартирных жилых зданий следует направить больше усилий на улучшение окружающей среды, чтобы увеличить экономическую выгоду арендаторов.

В этих и других подобных статьях, посвящённых оценке построенных и введённых в эксплуатацию жилых многоквартирных зданий, авторы не предлагают решений на этапе подготовки к строительству, т. е. эти исследования не затрагивают предпроектную стадию, что ограничивает их потенциал с позиции превентивного анализа. Рассмотренные публикации преимущественно констатируют сложившуюся ситуацию, не предлагая экспертно-аналитических инструментов для её прогнозирования и предотвращения неэффективных решений в дальнейшем. В частности, авторы используют методы анкетирования, анализа и

машинного обучения для выработки рекомендаций, однако отсутствие прогностических инструментов, основанных на экспертных знаниях, делает их выводы ограниченными и постфактумными.

В рамках диссертационного исследования разработаны инструменты по превентивной оценке строительных объектов: разработанный методический подход и программный инструментарий позволяют получать удобные с точки зрения технической эффективности и практического применения рациональные решения, основанные на экспертных знаниях. Применение разработанного программно-математического инструментария позволяет не только оценивать уже построенные объекты, но и прогнозировать потенциальные проблемы на этапе подготовки к строительству, что существенным образом способствует повышению качества и надёжности строительных проектов. Экспертные знания, лежащие в основе разработанного программного комплекса, помогают находить решения для освоения новых территорий, учитывая географические и климатические особенности, инфраструктуру и потребности населения, позволяют оценивать затраты на строительство, прогнозировать доходы от реализации квартир, обеспечивая соответствие проектов действующим нормам.

Предпроектная стадия создания многоквартирных жилых домов имеет ключевое значение для определения вариантов использования территорий и обеспечения эффективности строительства в России. Экспертные системы позволяют в автоматическом режиме анализировать большие объёмы данных и предлагать рациональные решения, снижая риск возникновения ошибок, которые могут привести к дополнительным затратам на исправление или к аварийным ситуациям. Кроме того, экспертные знания помогают готовить обоснованные проектные решения, что упрощает процесс согласования документации с государственными органами.

3.3. АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА СТАДИИ ПОДГОТОВКИ К СТРОИТЕЛЬСТВУ

Автоматизация поддержки принятия решений в проектировании способствует повышению качества и инвестиционной привлекательности строительных объектов. К значимым экономическим факторам применения экспертных систем в строительстве следует отнести исключение предусмотренных в экспертных системах организационных, технических и финансовых решений, которые часто ведут к убыткам. По различным оценкам, размеры этих убытков могут быть сопоставимы с объёмами финансирования строительства. По данным Росстата, средняя сметная стоимость строительства многоквартирных домов составляет 49,5

тыс. руб.⁴

Метод экспертных систем позволил учесть совокупность факторов, которые напрямую или косвенно влияют на стоимость жилья того или иного класса. Разработанный методический подход имеет важное значение, поскольку существуют факторы, которые повышают стоимость строительства, требуя дополнительных вложений со стороны инвестора, что ведёт не только к увеличению затратной части, но и к увеличению прибыли. Поэтому при принятии решений необходимо опираться на баланс между вложениями, которые повышают инвестиционную привлекательность будущего жилья. Например, экспертная система может учитывать такие параметры, как общая площадь построек бизнес-класса в исследуемом районе и удалённость до них. Кроме того, на этапе оценки земельного участка под строительство жилого комплекса застройщик может использовать системы оценки технико-экономического потенциала и финансового моделирования.

На примере разработанного индекса привлекательности строительства показано, что применение метода экспертных систем позволяет проектировать строительные объекты таким образом, чтобы одновременно максимально повысить их привлекательность и максимизировать экономическую эффективность. Метод оценки привлекательности строительства жилого многоэтажного здания учитывает класс жилья, высоту и площадь здания. Например, при повышении индекса привлекательности с 0,5 до 0,7 чистая прибыль от продажи увеличивается до 30% за счёт применения рациональных организационно-технических решений.

Преимущество применения экспертных знаний при оптимизации проектных решений можно проследить на примере жилого комплекса в Истринском районе Московской области. Застройщик планировал небольшую застройку в излучине реки Истра, осваивал участок и планировал жилой квартал из пятиэтажных жилых домов с мансардами. В округе были конкуренты, которые старались строить большое количество эконом-жилья. Их стратегия состояла в том, чтобы застроить район плотнее с небольшой себестоимостью и, соответственно, с небольшой прибылью. В процессе того, как застройщик осваивал территорию, нёс затраты на землю, проектирование, изыскания и др., он полностью пересмотрел свой продукт и вложил дополнительные инвестиции в ландшафтное проектирование, создав очень интересную, сложную территорию с геопластикой в виде искусственных холмов. Современное благоустройство сделали сначала в проекте, а потом его реализовали, чем существенно подняли класс жилья, а стоимость квадратного метра увеличили в два раза от изначально запланированного, при этом получили невероятный ажиотаж и высокие продажи. Таким образом, учёт дополнительных факторов за относительно небольшие дополнительные вложения повысил

⁴ Нормативная стоимость одного квадратного метра в многоквартирном жилом доме устанавливается приказом Минстроя № 422

инвестиционную привлекательность продукта и принёс значительную прибыль застройщику, который, повысив себестоимость строительства, существенно выиграл за счёт увеличения стоимости квадратного метра своего продукта.

Преимущества разработанной модели перед аналогами приведены в табл. 3.2. Как следует из таблицы, существующие аналоги характеризуются широким спектром функционала, при этом, каждый продукт сфокусирован на определённых сегментах автоматизации.

Для анализа экономической целесообразности ЭС необходимо учитывать такие показатели, как стоимость, рентабельность, окупаемость инвестиций и другие финансовые метрики. Из практики известны примеры, когда инвестиции были направлены не на наиболее эффективные направления, например, на строительство объекта, не соответствующего потребностям рынка, или распределение средств на проекты с низкой доходностью, что привело к снижению общей экономической эффективности.

С точки зрения экономической теории, принятие обоснованных решений является ключевым фактором успешного управления ресурсами. Применение современных методов анализа позволяет повысить эффективность принятия решений на 30-50% и способствует рациональному использованию финансовых средств при достижении поставленных целей. Таким образом, для оценки экономической эффективности проекта необходимо учитывать комплексно все аспекты технического облика здания, учитывая финансовые показатели и стратегические цели.

Табл. 3.2 – Преимущества разработанной модели перед аналогами

Наименование	Описание основного функционала известного аналога	Преимущества разработанной модели перед аналогами
ПИК Digital	Функционал охватывает производство материалов, проектирование домов, строительство, финансы и экономику, закупки и продажи.	Учёт данных ДЗЗ для непрерывного мониторинга и оценки различных сценариев строительства.
	Ускоряет разработку и оценку мастер-планов и их экономической ёмкости, находит сценарии для проектов комплексного развития территорий в условиях неполноты исходных данных.	Возможность оперативного управления базой знаний для своевременной актуализации экспертной информации без необходимости обращения к разработчикам.
Информационная система управления проектами государственного заказчика в сфере строительства (ИСУП) Минстроя России	Облачная информационная система для автоматизации процессов управления строительными проектами на уровне государственного (муниципального) заказчика в сфере строительства, позволяющая сопровождать реализацию строительных проектов на этапе их планирования, проектирования и строительства, обеспечивающая, в том числе ведение информационной модели, а также создание комплексной инфраструктуры мониторинга и аналитики этапов жизненного цикла объектов капитального строительства.	Возможность расширения функциональных возможностей, связанных с проектированием, оценкой и экспертизой на основе методов инженерии знаний и разработанной архитектуры информационной системы, предусматривающей ввод новых знаний посредством специального модуля.
Цифровой центр управления строительством (ЦУС)»	Комплексная платформа для управления крупными объектами капитального строительства, интегрирует данные с разных источников: BIM, IoT-устройств, камер видеонаблюдения и датчиков безопасности.	Возможность управления формами функций принадлежности для обеспечения точных результатов расчётов.

Несмотря на то, что при принятии решений экспертные системы не всегда способны полностью заменить экспертов, которые обладают уникальным опытом и эмпирическими знаниями в определённой области, технологии экспертных систем в строительстве интенсивно развиваются. Кроме того, экспертные системы на основе нечёткой логики можно использовать как компьютерную альтернативу консультационных услуг при передаче знаний.

В ходе исследований были разработаны модули, функции и классы для дальнейшего наполнения, отладки и совершенствования разработанного программного прототипа с привлечением профильных специалистов. Предполагается развитие разработанного прототипа экспертной системы для его внедрения в практику путём расширения программного функционала, включая анализ данных о размерах строительной площадки, её расположении относительно других объектов, наличии коммуникаций, зданий и сооружений, которые уже находятся на площадке (эти данные могут быть получены из данных ДЗЗ, кадастровых карт, планов землепользования и отчётов об обследовании).

Разработанная в диссертации методика имеет потенциал для развития путём расширения базы знаний и интеграции с системами машинного обучения. В дальнейшем на основе рассчитанных числовых значений возможно построение графической модели дома на участке застройки. Также возможно добавление информации о близлежащих газопроводах, стоянках, деревьях и другой информации для определения требуемых отступов от границ участка. Интеллектуальная информационная система может быть интегрирована с другими системами, включая системы управления проектами, ресурсами и жизненным циклом заявок на получение разрешений на строительство, что позволит обеспечить эффективное управление процессами застройки и снизить затраты на их реализацию. Кроме того, ЭС может быть расширена для анализа следующих параметров земельного участка: местоположение, размер, форма, рельеф, экологическая обстановка, окружающие факторы и др. Как было отмечено, разработанная архитектура экспертной системы имеет возможность расширения и дополнения другими модулями. При этом часть объектов и правил вывода являются общими для разных модулей. Очевидно, что по мере наполнения базы знаний экспертной системы, число правил, входных и выходных переменных будет увеличиваться.

Экспертная система представляет собой инструмент, который может быть интегрирован как в процесс инвестиционной оценки для девелоперских проектов, так и в анализ технико-экономических показателей будущего жилого комплекса. Применение данной технологии позволяет повысить точность и объективность принимаемых решений, минимизируя субъективные факторы и риски, связанные с неопределённостью рыночных условий и проектных параметров.

Разработанный прототип ЭС обладает потенциалом для дальнейшего расширения

посредством интеграции специализированных окон, отображающих поверхности отклика, графики функций принадлежности, диаграммы, карты и другие визуальные элементы, способствующие наглядному представлению информации. Особое внимание должно быть уделено обеспечению доступа к справочной информации, включая базы экспертных знаний, законодательные акты, нормативные документы и стандарты, имеющие отношение к проекту. Эти компоненты интерфейса направлены на обеспечение информированности пользователей при принятии решений на основе экспертных данных и нормативных требований.

По мере развития разработанной архитектуры экспертной системы, возможно применение нечёткой логики для анализа выходных значений с последующим их использованием в качестве входных переменных для следующих подсистем. Такой каскадный принцип коммутации экспертных систем полезен для выработки рекомендаций по усадке зданий или другим техническим инженерным решениям. В этом случае экспертная система будет иметь каскадную иерархическую структуру базы знаний.

Комплексный системный подход к принятию инженерных решений позволяет охватить значительное количество аспектов строительства и масштабировать экспертные системы для приобретения и тиражирования знаний, необходимых для проектирования многоквартирных жилых домов с учётом актуальных социально-экономических и геофизических факторов, а также современных и актуальных технических требований и нормативов. Также, экспертные системы могут служить платформой для обмена информацией и координации действий между архитекторами, инженерами, застройщиками и другими участниками проекта. Таким образом, применение экспертных систем и экспертных знаний на предпроектной стадии создаёт основу для успешного и эффективного развития градостроительства в России, способствует снижению рисков и повышению качества жизни горожан.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработано программное математическое обеспечение для определения технического облика проектных характеристик и инженерной концепции многоэтажных жилых зданий на стадии подготовки к строительству. Приведены составные части программного обеспечения, включая интерфейс и программные блоки экспертной системы.
2. Разработан алгоритм функционирования и логическое ядро экспертной системы по определению технического облика и проектных характеристик многоквартирных домов на стадии подготовки к строительству. Определена структурная организация экспертной системы как многомодульная база знаний, в которой каждый модуль ответственен за соответствующую проблемную область.
3. Оценена стабильность работы прототипа экспертной системы на всем диапазоне значений каждой из функций принадлежности и построены функции поверхности отклика. Построенные функции не имеют разрывов, алгоритм логического вывода характеризуется высокой производительностью, в целом, разработанный алгоритм удовлетворяет требованиям, необходимым для его апробации и дальнейшего практического применения. Разработанные компьютерные программы полезны для исследования городской среды, градостроительства и территориального планирования.
4. Установлено, что количественные взаимосвязи между лингвистическими переменными носят нелинейный характер, который обусловлен формой кривых, задающих функции принадлежности лингвистических переменных.
5. Каждый модуль в разработанной архитектуре ЭС имеет индивидуальный алгоритм дефаззификации, что позволяет точно и гибко подстраивать выходные значения под соответствующую проблемную область в сфере строительства, а саму систему делает более эффективной по сравнению с подходом с единой базой знаний.
6. Интеграционные платформы, позволяющие объединять данные ДЗЗ с экспертными системами расширяют возможности ДЗЗ для управления инвестиционными рисками при градостроительном проектировании.
7. Приведено экономическое обоснование применения экспертных систем и показано, что расчёт коэффициента привлекательности строительства позволяет повысить прибыль строительной организации за счёт применения эмпирических знаний и специализированных инженерно-технических решений. Оценены перспективы развития разработанного математического программного обеспечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование, проведённое в данной работе, вносит вклад в развитие теории и практики применения метода экспертных систем для решения инженерных задач в строительной отрасли и представляет собой развитие методологии автоматизированных систем поддержки принятия инженерных решений, основанных на методах инженерии знаний и теории нечётких множеств.

В результате проведённых исследований был создан прототип экспертной системы в виде программной платформы с пользовательским интерфейсом. Было разработано два программных продукта на языке Python и прототип на языке Matlab. Приведены примеры интерфейсов и программного кода разработанной экспертной системы поддержки принятия решений в области строительства. Пользовательский интерфейс был разработан на Python с помощью библиотеки PySimpleGUI. Предложена реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе алгоритма Mamdani. Для формирования экспертной системы были отобраны проблемные области, выявлены и определены функции принадлежности, разработаны алгоритмы логического вывода на основе математического аппарата нечеткой логики. На основе методов инженерии знаний проанализированы источники информации в строительной области, включая массивы нормативной документации (ГОСТы, СанПиНы), рекомендации, классификационные таблицы и другие источники. В результате исследования были разработаны экспертные методы, объединенные в единую информационно-аналитическую экспертную систему. Эта система создана в помощь застройщикам и проектировщикам на этапе подготовки к строительству.

Были разработаны математические модели и методологические принципы, которые могут в дальнейшем быть расширены с применением систем машинного обучения и нейронных сетей для задач проектирования инженерной концепции многоквартирных домов на этапе подготовки к строительству. Проведённое исследование подтверждает значимость и потенциал применения методологии экспертных систем в строительной сфере. Применение нечёткого логического вывода позволяет ориентироваться в инженерных задачах, связанных с проектированием и строительством, и представляет собой новый, инновационный подход к решению инженерно-технических задач.

Подход к автоматизации поддержки принятия решений для задач строительства многоквартирных жилых домов имеет потенциал для ускорения строительных процессов, позволяет повысить уровень безопасности, обеспечить устойчивость сооружений и, в конечном итоге, улучшить общую качественную характеристику строительных объектов.

Получены результаты анализа существующих методов создания и опыта применения технологий ДЗЗ и ИИ в строительстве в отечественной и мировой практике. На основе литературного обзора установлено, что для устойчивого развития городского строительства

важно исследование реакции экосистемы на природные и антропогенные факторы. Появление интегрированных технологий ИИ и ДЗЗ позволяет применять объективные и точные методы управления ресурсами, поддерживая инфраструктурную и социально-экономическую устойчивость.

В диссертационном исследовании была разработана организационно-управленческая модель и методика выбора рациональных решений на этапе предпроектной подготовки строящегося объекта. С этой целью был проведён анализ научной литературы и нормативных документов. Применялись метод экспертных оценок, математическая обработка практических результатов и методы математического моделирования. Результаты этого исследования способствуют упрощению планирования проекта и управления процессами, а также позволяют снизить риски на этапах предпроектной подготовки многоквартирных жилых домов к строительству.

Внедрение предложенной методологии открывает новые перспективы применения экспертных систем для проектирования объектов жилищного фонда, а также инициирует дальнейшие исследования в области развития интеллектуальных информационных систем для определения технического облика и проектных характеристик многоквартирных жилых домов. Разработанный математический аппарат и программный комплекс, на котором основана экспертная система, учитывает решение задач, связанных с подготовкой многоквартирного жилого дома к строительству, что способствует развитию и практическому применению метода экспертных систем в строительной отрасли России.

Выводы по исследованию

- I. Проанализированы основные источники (публикации, ГОСТы, СанПиНы и пр.), опрошены эксперты для формирования базы знаний экспертной системы по определению проектных характеристик многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству.
- II. Установлено, что при отсутствии статистических данных и наличии экспертных знаний применение нечёткого логического вывода для поддержки принятия решений представляется обоснованным и целесообразным.
- III. Решена задача параметрической оптимизации технического облика многоквартирных жилых домов, включающая идентификацию функций принадлежности лингвистических переменных и области их определения.
- IV. Разработаны математические принципы определения инженерной концепции многоквартирных жилых домов на этапе подготовки к строительству, включающие

структурную схему многопрофильной базы знаний и обобщённый алгоритм функционирования экспертной системы.

- V. Разработан перечень входных параметров и их взаимосвязей для проектирования интеллектуальной системы, учитывающей данные ДЗЗ для задач строительства.
- VI. На основе экспертных знаний разработаны математические модели расчёта и установлены логические взаимосвязи между входными и выходными переменными в виде правил логического вывода.
- VII. Реконструированы поверхности отклика и установлены количественные зависимости между переменными в каждом экспертном модуле базы знаний, определены зависимости между проектными характеристиками многоквартирных жилых домов и основными параметрами итоговой модели.
- VIII. Каждый модуль в разработанной экспертной системе имеет индивидуальный алгоритм дефаззификации, что позволяет более точно и гибко подстраивать выходные значения под соответствующую проблемную область, а саму систему делает более эффективной по сравнению с подходом с единой базой знаний.
- IX. Проведены тестовые испытания разработанной ЭС в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений.
- X. Разработанный математический аппарат и полученные результаты могут служить основой для поддержки принятия инвестиционных решений при строительстве объектов жилой застройки с учётом результатов анализа данных ДЗЗ.
- XI. Разработка является вкладом в развитие технологии баз знаний и может быть в дальнейшем развита в приложениях произвольной тематики, требующих многопрофильных экспертных знаний в системах логического вывода.
- XII. Цель работы по повышению эффективности принимаемых решений при определении проектных характеристик многоквартирных жилых домов на стадии подготовки к строительству на основе использования интеллектуальных экспертных систем была достигнута.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмелев Г.Д. Логическая структура экспертной системы прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций //Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – №. 1. – С. 9-17.
2. Небритов Б.Н. Моделирование организационно-технологических процессов с использованием поискового конструирования и экспертных систем //Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 21. – №. 3. – С. 739-742.
3. Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Экспертная система инвестиционного проектирования //Прикладная информатика. – 2013. – №. 5 (47). – С. 96-103.
4. Буценко Е.В. Разработка экспертной системы инвестиционного проектирования //Экономические исследования. – 2012. – №. 3. – С. 3.
5. Авдеев Т.В., Алетдинова А.А. Цифровизация экономики на основе совершенствования экспертных систем управления знаниями //π-Economy. – 2017. – Т. 10. – №. 1. – С. 7-18.
6. Романова А.М. Создание экспертной системы определения оптимального портфеля инвестиционных проектов //Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности. – 2018. – С. 78-81.
7. Хашан Д.Ш. Разработка экспертной системы анализа и оценки рисков инвестиционных проектов //Системы и средства искусственного интеллекта. – 2012. – Т. 1. – С.
8. Власова О.В. Аналоги информационных систем и технологий для оценки эффективности инвестиционных проектов //Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2021. – Т. 10. – №. 1 (34). – С. 115-118.
9. Кравченко Т.К. Экспертная система поддержки принятия решений //Открытое образование. – 2010. – №. 6. – С. 147-156.
10. Культин Н.Б. Искусственный интеллект в управлении инновационными проектами //Инновации. – 2019. – №. 12 (254). – С. 99-103.
11. Буценко Е.В., Софиева Р.А. Системы искусственного интеллекта в управлении инвестиционным проектированием //Успехи современной науки. – 2017. – Т. 7. – №. 4. – С. 13-17.
12. Клименков Г.В., Кукор Б.Л., Пыткин А.Н. Экспертные системы и системы ситуационного управления на базе логико-лингвистических моделей //Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2010. – №. 2. – С. 26-37.
13. Данько Е.В., Ергалиев Е.К., Мадияров М.Н. Вычислительные методы в задачах субъективной оценки эффективности инвестиционных решений //Известия

14. Колотилов Ю.В. и др. Экспертная система мониторинга линейной части магистральных газопроводов. – 2009.
15. Мельникова С.А., Томилин А.В., Шубик Е.И. Анализ развития экспертных систем подземного строительства //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – №. 7. – С. 212-216.
16. Гулякин Д.В., Добровольская Е.Д., Трошкин Н.И. Экспертные системы в строительстве //student research. – 2018. – С. 45-47.
17. Полянский А. В. Теория и практика технологического обоснования конструктивных решений объектов железнодорожного пути с применением экспертной системы //Транспортные сооружения. – 2020. – Т. 7. – №. 3. – С. 1-1.
18. Кашеварова Г. Г., Тонков Ю. Л. Экспертная система для практической диагностики строительных конструкций //Academia. Архитектура и строительство. – 2022. – №. 2. – С. 85-91.
19. Кашеварова Г. Г., Тонков Ю. Л., Фурсов М. Н. Нечеткая экспертная система диагностики повреждений строительных конструкций //Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2014. – №. 17. – С. 167-173.
20. Гражданкин А. И., Белов П. Г. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов //Безопасность труда в промышленности. – 2000. – Т. 11. – С. 6-10.
21. Корчак А. В. и др. Обоснование структуры экспертной системы для решения задач при проектировании подземных сооружений //Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2013. – №. 9. – С. 49-52.
22. Кашеварова Г. Г., Дроздов К. Д. Экспертные системы на базе нечеткой логики в строительстве //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2019. – Т. 1. – С.
23. Хорошилов В. С. Разработка информационной системы «Геодезический контроль геометрических параметров в строительстве» //Вестник СГТА. – 2005. – №. 10. – С. 84-88.
24. Надбережный Л. О., Гулякин Д. В. Экспертные системы в строительной сфере //наукосфера учредители: ооо" смоленский социологический центр". – С. 89-92.
25. Маслов С. В. Некоторые вопросы проектирования экспертной системы оценки качества и технического состояния строительных объектов //Известия Института инженерной физики. – 2013. – №. 2. – С. 63-65.
26. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2007.
27. Кашеварова Г. Г., Тонков Ю. Л. Интеллектуальные технологии в обследовании строительных конструкций //Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – №. 1. – С. 92-99.

28. Дроздов К. Д. Дефектоскопия зданий и сооружений с использованием экспертной системы //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2020. – Т. 1. – С. 33-34.
29. Коргин А. В., Емельянов М. В. Особенности построения интеллектуальных систем автоматического мониторинга технического состояния ответственных строительных сооружений //Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – №. 3. – С. 32-34.
30. Гусаков А. А., Ильин Н. И., Эдели Х. Экспертные системы в проектировании и управлении строительством //М.: Стройиздат. – 1995.
31. Серенков П. С. и др. Экспертная система управления разработкой стандарта по критерию допустимого риска //Актуальные вопросы машиноведения. – 2014. – Т. 3. – С. 208-211.
32. Домнина А. О., Тонков Ю. Л. Проблематика создания экспертных систем для оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2018. – Т. 2. – С. 331-335.
33. Серенков П. С. и др. Экспертная система оценки рисков стандартизации в области строительства, перспективы практической реализации. – 2012.
34. Томилин А. В. Использование экспертных систем для оптимизации выбора способа подготовки массива при строительстве подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №. 11. – С. 114-117.
35. Тонков Ю. Л. Математические модели для идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечеткой логики : дис. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2018.
36. Кашеварова Г. Г., Тонков Ю. Л., Тонков И. Л. Интеллектуальная автоматизация инженерного обследования строительных объектов //International Journal for Computational Civil Engineering. – 2018. – Т. 12. – С. 1-12.
37. Домнина А. О., Тонков Ю. Л. Использование систем искусственного интеллекта при оценке технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений //Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – Т. 1. – С. 128-133.
38. Султанова Е. А., Фазлетдинова З. И. Экспертная система оценки состояния городского жилого фонда //информационные технологии. Проблемы и решения: Материалы Международной научно-практической конференции. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018. – №. 1. – С. 430-433.
39. Коргин А. В., Емельянов М. В. Интеллектуальная система автоматического

мониторинга технического состояния строительных сооружений //Механизация строительства. – 2010. – №. 9. – С. 18-20.

40. Орлов С. П., Чуваков А. В., Мережко А. Г. Системный анализ и информационные технологии при проектировании и строительстве территориальных комплексов водоснабжения //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – №. 5-2. – С.

41. Гуревич В. Л. и др. Концепция экспертной системы поддержки принятия решений в рамках СМК // Методы менеджмента качества. – 2013. – №. 4. – С. 22-29.

42. Идрисова С. Р., Султанова Е. А. Экспертная система оценки состояния городского жилого фонда //Информационные технологии. Проблемы и решения: Материалы Международной научно-практической конференции. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования" Уфимский государственный нефтяной технический университет", 2016. – №. 1. – С. 176-179.

43. Марков В. Н. Экспертная система для оптимального раскроя плоских материалов //Автоматизация и современные технологии. – 2008. – №. 5. – С. 9-13.

44. Чуваков А. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при проектировании и строительстве //Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. – 2015. – №. 3. – С. 281-283.

45. Багдасарян А. Г. Общая структура информационной экспертной системы моделирования и анализа сложных иерархических систем в контуре управления //Управление большими системами: сборник трудов. – 2008. – №. 21. – С. 58-70.

46. Нигаматова О. И. и др. О разработке интеллектуальных систем проектирования и оценки технического состояния мостовых сооружений. Часть 1 //Транспортные сооружения. – 2018. – Т. 5. – №. 1. – С. 10-10.

47. Панкевич О. Д., Штовба С. Д., Штовба Д. П. Диагностика причин трещин строительных конструкций на основе мягких вычислений //Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 69: 179–184. – 2004.

48. Леженко А. И., Кузнецов И. А., Кузнецов С. К. Использование экспертных систем для интеллектуального анализа данных //Информационные технологии и вычислительные системы. – 2012. – №. 1. – С. 60-64.

49. Хорошилов В. С. Методологические основы применения экспертной системы для оптимального выбора методов и средств измерений при монтаже технологического оборудования //Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – №. 3. – С. 14-25.

50. Чуваков А. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при проектировании и строительстве территориальных комплексов водоснабжения //Вестник

Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №. 6 (100). – С. 124-127.

51. Скопинова Ю. С. Строительные дефекты в результате ошибочного проектирования //Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2021. – Т. 1. – №. 3. – С. 33-37.

52. Чунюк Д. Ю. Оценка и управление рисками при строительстве подземных сооружений открытым способом //Вестник МГСУ. – 2009. – №. 3. – С. 120-123.

53. Маланова А. А., Куклина М. В. Повышение эффективности работы строительной организации за счёт внедрения технологии нейронных сетей //Молодежный вестник ИрГТУ. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 125-130.

54. Савченко Д. В., Резникова К. М., Смышляева А. А. Нечеткая логика и нечеткие информационные технологии //Отходы и ресурсы. – 2021. – Т. 8. – №. 1. – С. 10-10.

55. Полковникова Н. А., Курейчик В. М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики //Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – №. 1 (150). – С. 83-92.

56. Набокин А. А., Матвеев М. Г. Разработка оболочки экспертной системы на основе нечеткой логики //Сборник студенческих научных работ факультета компьютерных наук ВГУ. – 2019. – С. 139-145.

57. Храмов В. Ю., Молчанов А. Н., Зинькевич Г. В. Оболочка интегрированной экспертной системы с нечеткой логикой //Энергия-XXI век. – 2019. – №. 4. – С. 61-69.

58. Энс Е. С. Принятие управленческих решений в бизнес-среде на основе методов нечеткой логики, экспертных систем //Теоретические и прикладные научные исследования: проблемы и пути их решения. – 2020. – С. 35-46.

59. Тур В. В., Яловая Ю. С. Экспертная система оценки существующих конструкций, основанная на элементах нечеткой логики Fuzzy logic-based expert system for assessment of

60. Бакаев В. А., Благоев А. В. Исследование подходов к построению самообучающихся экспертных систем с нечеткой логикой //Сборник трудов ИТНТ-2019. – 2019. – С. 21-24.

61. Чесалин А. Н. и др. Технология оценки рисков на этапах жизненного цикла продукции с использованием нечеткой логики //Russian Technological Journal. – 2020. – Т. 8. – №. 6. – С. 167-

62. Киселёва Э. А., Краева А. А., Савинова Ю. С. Обзор нечеткой логики в управлении //Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – №. 3. – С. 401-405.

63. Кульмамиров С. А., Рахимбердин Д. Р. Возможности теории нечеткой логики при анализе рисков систем информационной безопасности //Синергия наук. – 2020. – №. 54. – С. 817-

64. Ляпко А. М., Курочкин А. В. Библиотека для создания экспертных систем на базе алгоритмов нечеткого вывода на языке TypeScript. – 2019.
65. Лаптев А. С., Шестова Е. А. Недостатки нейро-экспертных систем управления и способы их решения //Редакционная коллегия кандидат технических наук, научный сотрудник Светличная ЛА (отв. ред.) доктор экономических наук, научный сотрудник Чернова ТВ Политехнический институт (филиал) ДГТУ в г. Таганроге Наука и современность: материалы всероссийской научно-практической. – 2021. – С. 104.
66. Балмаганбетова Ф. Т. Теория нечетких множеств в современной науке //Альманах мировой науки. – 2019. – №. 7. – С. 5-6.
67. Сергиенко М. А. Разработка нечетких экспертных систем с помощью FuzzyCLIPS //Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2019. – С. 323-325.
68. Скитер Н. Н., Костикова А. В. Интеллектуальные системы на основе методов нечеткой логики. – 2020.
69. Семенов А. М., Тагирова Л. Ф., Тагиров В. К. Использование нечетких экспертных систем при разработке адаптивных человекомашинных интерфейсов //Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – №. 7. – С. 71-74.
70. Pezeshki Z., Mazinani S. M. Comparison of artificial neural networks, fuzzy logic and neuro fuzzy for predicting optimization of building thermal consumption: a survey //Artificial Intelligence Review. – 2019. – Т. 52. – №. 1. – С. 495-525.
71. Escobar L. M. et al. Advanced fuzzy-logic-based context-driven control for HVAC management systems in buildings //IEEE access. – 2020. – Т. 8. – С. 16111-16126.
72. Roy K., Mukherjee A., Jana D. K. Prediction of maximum oil-yield from almond seed in a chemical industry: A novel type-2 fuzzy logic approach //South African Journal of Chemical Engineering. – 2019. – Т. 29. – №. 1. – С. 1-9.
73. Fayek A. R. Fuzzy logic and fuzzy hybrid techniques for construction engineering and management //Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – Т. 146. – №. 7. – С.
74. Kumar S., Anbanandam R. An integrated Delphi–fuzzy logic approach for measuring supply chain resilience: an illustrative case from manufacturing industry //Measuring Business Excellence. – 2019. – Т. 23. – №. 3. – С. 350-375.
75. Hedao N., Pawar A. Risk Assessment Model Based on Fuzzy Logic for Residential Buildings //Slovak Journal of Civil Engineering. – 2021. – Т. 29. – №. 4. – С. 37-48.
76. Ren X. et al. Design of multi-information fusion based intelligent electrical fire detection system for green buildings //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 6. – С. 3405.
77. Hendiani S., Bagherpour M. Developing an integrated index to assess social sustainability

in construction industry using fuzzy logic //Journal of cleaner production. – 2019. – T. 230. – C. 647-662.

78. Mehbodniya A. et al. Energy-aware routing protocol with fuzzy logic in industrial internet of things with blockchain technology //Wireless Communications and Mobile Computing. – 2022. – T. 2022.

79. Caiado R. G. G. et al. A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management //International Journal of Production Economics. – 2021. – T. 231. – C. 107883.

80. Dzwigol H. et al. Manager competency assessment model in the conditions of industry 4.0 //Entrepreneurship and Sustainability Issues. – 2020. – T. 7. – №. 4. – C. 2630.

81. Jana D. K. et al. Interval type-2 fuzzy logic and its application to occupational safety risk performance in industries //Soft Computing. – 2019. – T. 23. – C. 557-567.

82. Gopi B., Ramesh G., Logeshwaran J. The fuzzy logical controller based energy storage and conservation model to achieve maximum energy efficiency in modern 5g communication //ICTACT Journal on Communication Technology. – 2022. – T. 13. – №. 3. – C. 2774-2779.

83. Guðlaugsson B. et al. Classification of stakeholders of sustainable energy development in Iceland: Utilizing a power-interest matrix and fuzzy logic theory //Energy for Sustainable Development. – 2020. – T. 57. – C. 168-188.

84. Wang K. et al. Investigating the Role of Artificial Intelligence Technologies in the Construction Industry Using a Delphi-ANP-TOPSIS Hybrid MCDM Concept under a Fuzzy Environment //Sustainability. – 2023. – T. 15. – №. 15. – C. 11848.

85. Jain A., Sharma A. Membership function formulation methods for fuzzy logic systems: A comprehensive review //Journal of Critical Reviews. – 2020. – T. 7. – №. 19. – C. 8717-8733.

86. Al-Madani B. et al. Fuzzy logic type-2 based wireless indoor localization system for navigation of visually impaired people in buildings //Sensors. – 2019. – T. 19. – №. 9. – C. 2114.

87. Panchalingam R., Chan K. C. A state-of-the-art review on artificial intelligence for Smart Buildings //Intelligent Buildings International. – 2021. – T. 13. – №. 4. – C. 203-226.

88. Vilela M., Oluyemi G., Petrovski A. A fuzzy inference system applied to value of information assessment for oil and gas industry //Decision Making: Applications in Management and Engineering. – 2019. – T. 2. – №. 2. – C. 1-18.

89. Al-Ani B. R. K., Erkan T. E. A study of load demand forecasting models in electricity using artificial neural networks and fuzzy logic model //International Journal of Engineering. – 2022. – T. 35. – №. 6. – C. 1111-1118.

90. Okoye P. U., Ngwu C. Assessing the adequacy and sustainability performance of multi-family residential buildings in Anambra State, Nigeria //Regional Sustainability. – 2021. – T. 2. – №. 1.

– C. 23-35.

91. Harirchian E., Lahmer T. Developing a hierarchical type-2 fuzzy logic model to improve rapid evaluation of earthquake hazard safety of existing buildings //Structures. – Elsevier, 2020. – T. 28. – C. 1384-1399.

92. Ketsap A. et al. Uncertainty and fuzzy decisions in earthquake risk evaluation of buildings //Engineering Journal. – 2019. – T. 23. – №. 5. – C. 89-105.

93. Phan D. et al. Interval type 2 fuzzy logic control for energy management of hybrid electric autonomous vehicles //IEEE Transactions on Intelligent vehicles. – 2020. – T. 6. – №. 2. – C. 210-220.

94. Boloş M. I., Bradea I. A., Delcea C. A fuzzy logic algorithm for optimizing the investment decisions within companies //Symmetry. – 2019. – T. 11. – №. 2. – C. 186.

95. Takahashi A., Takahashi S. A new interval type-2 fuzzy logic system under dynamic environment: Application to financial investment //Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2021. – T. 100. – C. 104154.

96. Dzwigol H. et al. An entrepreneurship model for assessing the investment attractiveness of regions //Journal of Entrepreneurship Education. – 2019. – T. 22. – C. 1-7.

97. Lanbaran N. M., Celik E., Yiğider M. Evaluation of investment opportunities with interval-valued fuzzy topsis method //Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. – 2020. – T. 5. – №. 1. – C.

98. Ziyadin S. et al. Assessment of investment attractiveness of projects on the basis of environmental factors //Sustainability. – 2019. – T. 11. – №. 9. – C. 2544.

99. Krakowski T., Ruta H. Application of fuzzy logic in lift energy efficiency classification //Energy Efficiency. – 2019. – T. 12. – №. 8. – C. 1973-1985.

100. Gnanavel C. et al. An Experimental Investigation of Fuzzy-Based Voltage-Lift Multilevel Inverter Using Solar Photovoltaic Application //Smart Grids and Green Energy Systems. – 2022. – C. 59-74.

101. Haque A. K. M. B., Bhushan B., Dhiman G. Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends //Expert Systems. – 2022. – T. 39. – №. 5. – C. e12753.

102. Zhang Z. et al. Two-sided matching decision making with multi-granular hesitant fuzzy linguistic term sets and incomplete criteria weight information //Expert Systems with Applications. – 2021. – T. 168. – C. 114311.

103. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech //Developments in the Built Environment. – 2020. – T. 4. – C. 100011.

104. Liebowitz J. (ed.). The handbook of applied expert systems. – cRc Press, 2019.

105. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and

management: A critical review and future trends //Automation in Construction. – 2021. – T. 122. – C. 103517.

106.Bui D. K. et al. An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings //Energy. – 2020. – T. 190. – C. 116370.

107.Dalvand A. et al. Designing a Mamdani Fuzzy Inference Expert System for evaluating Human Resources in the Iranian Construction Industry //Iranian Journal of Management Studies. – 2022. – T. 15. – №. 4.

108.Batubara S. et al. Application of Mamdani and Sugeno Fuzzy Toward Ready-Mix Concrete Quality Control //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – T. 1255. – №. 1. – C. 012061.

109.Yamana G. Ö. et al. Rule-Based Mamdani-Type Fuzzy Modelling of Buildings Annual Heating Energy Need in Design of Industrial Buildings in Konya-Turkey //Online Journal of Art and Design. – 2023. – T. 11. – №. 4.

110.Haque A. K. M. B., Bhushan B., Dhiman G. Conceptualizing smart city applications: Requirements, architecture, security issues, and emerging trends //Expert Systems. – 2022. – T. 39. – №. 5. – C. e12753.

111.Baduge S. K. et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications //Automation in Construction. – 2022. – T. 141. – C. 104440.

112.Debrah C., Chan A. P. C., Darko A. Artificial intelligence in green building //Automation in Construction. – 2022. – T. 137. – C. 104192.

113.Liu C. et al. Research on Diagnosis and Assessment Processes and Methods for Existing Residential Buildings Based on Intelligent Assistance Models //Buildings. – 2024. – T. 14. – №. 10. – C. 3062.

114.Mehmood M. U. et al. A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment //Energy and Buildings. – 2019. – T. 202. – C. 109383.

115.Elmousalami H. H. Artificial intelligence and parametric construction cost estimate modeling: State-of-the-art review //Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – T. 146. – №. 1. – C. 03119008.

116.Abioye S. O. et al. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges //Journal of Building Engineering. – 2021. – T. 44. – C. 103299.

117.Jiang H. Mobile fire evacuation system for large public buildings based on artificial

intelligence and IoT //IEEE Access. – 2019. – T. 7. – C. 64101-64109.

118.Yaseen Z. M. et al. Prediction of risk delay in construction projects using a hybrid artificial intelligence model //Sustainability. – 2020. – T. 12. – №. 4. – C. 1514.

119.Cai H. Building Construction Operation Simulation Based on BIM Technology and Intelligent Robots //Journal of Interconnection Networks. – 2022. – T. 22. – №. 03. – C. 2145005.

120.Farzaneh H. et al. Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency //Applied Sciences. – 2021. – T. 11. – №. 2. – C. 763.

121.Akinosho T. D. et al. Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations //Journal of Building Engineering. – 2020. – T. 32. – C. 101827.

122.Wamba-Taguimdje S. L. et al. Influence of artificial intelligence (AI) on firm performance: the business value of AI-based transformation projects //Business Process Management Journal. – 2020. – T. 26. – №. 7. – C. 1893-1924.

123.Iyer K. C., Jha K. N. Factors affecting cost performance: evidence from Indian construction projects //International journal of project management. – 2005. – T. 23. – №. 4. – C. 283-295.

124.Xu Y. et al. Machine learning in construction: From shallow to deep learning //Developments in the built environment. – 2021. – T. 6. – C. 100045.

125.Ahmad T. et al. Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities //Journal of Cleaner Production. – 2021. – T. 289. – C. 125834.

126.Sanni-Anibire M. O., Zin R. M., Olatunji S. O. Developing a preliminary cost estimation model for tall buildings based on machine learning //Big Data and Information Theory. – Routledge, 2022. – C. 94-102.

127.You Z., Feng L. Integration of industry 4.0 related technologies in construction industry: a framework of cyber-physical system //Ieee Access. – 2020. – T. 8. – C. 122908-122922.

128.Olu-Ajayi R. et al. Building energy consumption prediction for residential buildings using deep learning and other machine learning techniques //Journal of Building Engineering. – 2022. – T. 45. – C. 103406.

129.Sawhney A. et al. Construction 4.0 //Sawhney, A., Riley, M., Irizarry, J., Eds. – 2020.

130.Forcael E. et al. Construction 4.0: A literature review //Sustainability. – 2020. – T. 12. – №. 22. – C. 9755.

131.Ngarambe J., Yun G. Y., Santamouris M. The use of artificial intelligence (AI) methods in the prediction of thermal comfort in buildings: Energy implications of AI-based thermal comfort controls //Energy and Buildings. – 2020. – T. 211. – C. 109807.

132.Marinakis V. Big data for energy management and energy-efficient buildings //Energies. – 2020. – T. 13. – №. 7. – C. 1555.

133.Mangalathu S. et al. Classifying earthquake damage to buildings using machine learning

//Earthquake Spectra. – 2020. – T. 36. – №. 1. – C. 183-208.

134.Himeur Y. et al. AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives //Artificial Intelligence Review. – 2023. – T. 56. – №. 6. – C. 4929-5021.

135.Yigitcanlar T. et al. Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature //Energies. – 2020. – T. 13. – №. 6. – C. 1473.

136.Moreno M. et al. Preventive conservation and restoration monitoring of heritage buildings based on fuzzy logic //International Journal of Architectural Heritage. – 2023. – T. 17. – №. 7. – C. 1153-

137.Hong T. et al. State-of-the-art on research and applications of machine learning in the building life cycle //Energy and Buildings. – 2020. – T. 212. – C. 109831.

138.Yigitcanlar T. et al. Artificial intelligence technologies and related urban planning and development concepts: How are they perceived and utilized in Australia? //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2020. – T. 6. – №. 4. – C. 187.

139.Yu K. H. et al. Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence //Environmental Impact Assessment Review. – 2021. – T. 86. – C. 106492.

140.Alanne K., Sierla S. An overview of machine learning applications for smart buildings //Sustainable Cities and Society. – 2022. – T. 76. – C. 103445.

141.Mishra M. Machine learning techniques for structural health monitoring of heritage buildings: A state-of-the-art review and case studies //Journal of Cultural Heritage. – 2021. – T. 47. – C. 227-245.

142.Seyedzadeh S. et al. Machine learning modelling for predicting non-domestic buildings energy performance: A model to support deep energy retrofit decision-making //Applied Energy. – 2020. – T. 279. – C. 115908.

143.Aslam M. S. et al. Energy-efficiency model for residential buildings using supervised machine learning algorithm //Intell. Autom. Soft Comput. – 2021. – T. 30. – №. 3. – C. 881-888.

144.Naser M. Z. Fire resistance evaluation through artificial intelligence-A case for timber structures //Fire safety journal. – 2019. – T. 105. – C. 1-18.

145.Fathi S. et al. Machine learning applications in urban building energy performance forecasting: A systematic review //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – T. 133. – C. 110287.

146.Vijayan D. S. et al. Automation systems in smart buildings: a review //Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2020. – C. 1-13.

147.Shirrowzhan S. et al. Comparative analysis of machine learning and point-based algorithms for detecting 3D changes in buildings over time using bi-temporal lidar data //Automation in

Construction. – 2019. – T. 105. – C. 102841.

148. Muñoz-La Rivera F. et al. Methodological-technological framework for Construction 4.0 //Archives of computational methods in engineering. – 2021. – T. 28. – C. 689-711.

149. Allam Z., Dhunny Z. A. On big data, artificial intelligence and smart cities //Cities. – 2019. – T. 89. – C. 80-91.

150. Huang M. Q., Ninić J., Zhang Q. B. BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives //Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – T. 108. – C. 103677.

151. Panteli C., Kylili A., Fokaides P. A. Building information modelling applications in smart buildings: From design to commissioning and beyond A critical review //Journal of Cleaner Production. – 2020. – T. 265. – C. 121766.

152. Nguyen H. Q. et al. Optimization of artificial intelligence system by evolutionary algorithm for prediction of axial capacity of rectangular concrete filled steel tubes under compression //Materials. – 2020. – T. 13. – №. 5. – C. 1205.

153. Daissaoui A. et al. IoT and big data analytics for smart buildings: A survey //Procedia computer science. – 2020. – T. 170. – C. 161-168.

154. Kunnathuvalappil Hariharan N. Predictive model building for driver-based budgeting using machine learning //Predictive Model Building for Driver-Based Budgeting Using Machine Learning: Kunnathuvalappil Hariharan, Naveen. – [SI]: SSRN, 2021.

155. Zhang L. et al. A review of machine learning in building load prediction //Applied Energy. – 2021. – T. 285. – C. 116452.

156. Froufe M. M. et al. Smart buildings: Systems and drivers //Buildings. – 2020. – T. 10. – №. 9. – C. 153.

157. Moradzadeh A. et al. Performance evaluation of two machine learning techniques in heating and cooling loads forecasting of residential buildings //Applied Sciences. – 2020. – T. 10. – №. 11. – C.

158. McNamara A. J., Sepasgozar S. M. E. Intelligent contract adoption in the construction industry: Concept development //Automation in construction. – 2021. – T. 122. – C. 103452.

159. Ren X. et al. Design of multi-information fusion based intelligent electrical fire detection system for green buildings //Sustainability. – 2021. – T. 13. – №. 6. – C. 3405.

160. Roy S. S. et al. Forecasting heating and cooling loads of buildings: A comparative performance analysis //Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2020. – T. 11. – C. 1253-1264.

161. Seyedzadeh S. et al. Machine learning for building energy forecasting //Data-Driven Modelling of Non-Domestic Buildings Energy Performance: Supporting Building Retrofit Planning. –

2021. – C. 41-76.

162.Mofidi F., Akbari H. Intelligent buildings: An overview //Energy and Buildings. – 2020. – T. 223. – C. 110192.

163.Jia M. et al. Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications //Automation in Construction. – 2019. – T. 101. – C. 111-126.

164.Gao W. et al. Comprehensive preference learning and feature validity for designing energy-efficient residential buildings using machine learning paradigms //Applied Soft Computing. – 2019. – T. 84. – C. 105748.

165.Li Z. et al. An ANN-based fast building energy consumption prediction method for complex architectural form at the early design stage //Building Simulation. – Tsinghua University Press, 2019. – T. 12. – C. 665-681.

166.Böke J., Knaack U., Hemmerling M. State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems //Intelligent Buildings International. – 2019. – T. 11. – №. 1. – C. 27-45.

167.Trakadas P. et al. An artificial intelligence-based collaboration approach in industrial iot manufacturing: Key concepts, architectural extensions and potential applications //Sensors. – 2020. – T. 20. – №. 19. – C. 5480.

168.Nguyen K. T. et al. Analyzing the compressive strength of green fly ash based geopolymer concrete using experiment and machine learning approaches //Construction and Building Materials. – 2020. – T. 247. – C. 118581.

169.Zhong B. et al. Convolutional neural network: Deep learning-based classification of building quality problems //Advanced Engineering Informatics. – 2019. – T. 40. – C. 46-57.

170.Apanaviciene R., Vanagas A., Fokaides P. A. Smart building integration into a smart city (SBISC): Development of a new evaluation framework //Energies. – 2020. – T. 13. – №. 9. – C. 2190.

171.Marani A., Nehdi M. L. Machine learning prediction of compressive strength for phase change materials integrated cementitious composites //Construction and Building Materials. – 2020. – T. 265. – C. 120286.

172.Li Y. W., Cao K. Establishment and application of intelligent city building information model based on BP neural network model //Computer Communications. – 2020. – T. 153. – C. 382-389.

173.Vlačić B. et al. The evolving role of artificial intelligence in marketing: A review and research agenda //Journal of Business Research. – 2021. – T. 128. – C. 187-203.

174.Reia J., Brandusescu A. Artificial intelligence in the city: building civic engagement and public trust. – 2022.

175.Yigitcanlar T. et al. Contributions and risks of artificial intelligence (AI) in building smarter cities: Insights from a systematic review of the literature //Energies. – 2020. – T. 13. – №. 6. – C. 1473.

176.Studer R., Benjamins V. R., Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods //Data & knowledge engineering. – 1998. – Т. 25. – №. 1-2. – С. 161-197.

177.Zadeh L. A. Fuzzy logic //Computer. – 1988. – Т. 21. – №. 4. – С. 83-93.

178.Tsay D. L., Chung H. Y., Lee C. J. The adaptive control of nonlinear systems using the Sugeno-type of fuzzy logic //IEEE Transactions on fuzzy systems. – 1999. – Т. 7. – №. 2. – С. 225-229.

179.Iancu I. A Mamdani type fuzzy logic controller //Fuzzy logic-controls, concepts, theories and applications. – 2012. – Т. 15. – №. 2. – С. 325-350.

180.СП-42 «Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01 (утв. Приказом Минстроя Р

с 181.СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» / URL: <https://base.garant.ru/400289764/> доступ 18.11.2023

т 182.Свод правил сп 4.13130 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593> доступ 18.11.2023

0 183.Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (новая редакция) / URL: <https://base.garant.ru/12158477/b89690251be5277812a78962f6302560/> доступ 18.11.2023

. 184.Веб-ресурс / URL: <https://ask-yug.com/articles/klassy-zhilya/> доступ 18.11.2023

2 185.ГОСТ Р 52941-2008 (ИСО 4190-6:1984) Лифты пассажирские. Проектирование систем вертикального транспорта в жилых зданиях.

1 186.Бахарев Д. В., Орлова Л. Н. О нормировании и расчете инсоляции //Светотехника. – 2006. – №. 1. – С. 18-27.

187.СП 131.13330.2012 Строительная климатология (Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*) / URL: <https://lidersk.ru/media/documents/8c/8c50977f1a483d1111c78833fc008b67.pdf> доступ 18.11.2023

1 188.Постановление об утверждении санитарных правил и норм Санпин 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" / URL:

4

/

п

<http://www.55.rospotrebнадзор.ru/Files/СанПин%203685.pdf> доступ 18.11.2023

189.ТСН 23-303-99 «Инсоляция и солнцезащита» (Московские городские строительные нормы. МГСН 2.05-99), утв. Правительством Москвы в 1999 г. / URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294849/4294849923.pdf> доступ 18.11.2023

190.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий. / URL: <https://stroyexpress24.ru/wp-content/uploads/СанПиН-2.2.1-2.1.1.1076-01-Гигиенические-требования-к-инсоляции-и-солнцезащите-помещений-жилых-и-общественных-зданий-и-территорий.pdf> доступ 18.11.2023

191.ГОСТ 31937-2011. «Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» (введен в действие Приказом Р

о 192.Свод правил «Основания зданий и сооружений» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83 / URL: <https://www.flamax.ru/upload/СП%2022-2016.pdf> доступ 18.11.2023

с 193.Studer R., Benjamins V. R., Fensel D. Knowledge engineering: Principles and methods //Data & knowledge engineering. – 1998. – Т. 25. – №. 1-2. – С. 161-197.

а 194.Fan, H., Kong, G., & Zhang, C. (2021). An Interactive platform for low-cost 3D building modeling from VGI data using convolutional neural network. Big Earth Data, 5(1), 49-65.

д 195.Веб-ресурс:<https://github.com/michaelhasey/3D-Building-Segmentation> доступ 7 января 2024

р 196.ГОСТ Р 52941-2008 «Лифты пассажирские. Проектирование систем вертикального транспорта в жилых зданиях» / URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065228> доступ 18.11.2023

а 197.Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов" (новая редакция) / URL:

т

198.Бахарев Д. В., Орлова Л. Н. О нормировании и расчете инсоляции //Светотехника. – 2006. – №. 1. – С. 18-27.

7 199.Поповский Ю. Б. Расчеты инсоляции в жилых помещениях с применением инсографика для 55° с. ш. Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы по архитектурной светологии – 2018.

2

.

2

0

1

2

N

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БЗ — база знаний

ГИС — геоинформационная система

ГОСТ — государственный стандарт (региональный стандарт, принятый государственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации)

ДД — (добыча данных, DM, Data Mining)-- метод обнаружения полезных закономерностей в данных

ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли

ЖБ — железобетон

ЖКХ — жилищно-коммунальное хозяйство

ИАС — интеллектуальная автоматизированная система

ИЗ — инженерия знаний

ИЗС — индекс «зелёного строительства»

ИИ — искусственный интеллект

ИЖС — индивидуальное жилищное строительство

ИМЗ — информационное моделирование зданий

ИНС — искусственная нейронная сеть

КФС — киберфизическая система

МАПР — многокритериальный анализ принятия решений

МЖС — малоэтажное жилищное строительство

МО — машинное обучение

ОВиК — системы отопления, вентиляции и кондиционирования

ООП — объектно-ориентированное программирование

ПО — программное обеспечение

СанПиН — санитарные (санитарно-эпидемиологические) правила

СМК — система менеджмента качества

СМР — строительно-монтажные работы

СНиП — строительные нормы и правила

СП — свод правил

СППР — система поддержки принятия решений

СУБЗ — система управления базой знаний

ЭС — экспертная система

**ПРИЛОЖЕНИЕ I. РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИНТЕНСИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИЛЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ НА
ЖИЛЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ДЛЯ ЗАСТРОЙКИ КЛАСТЕРОВ ИЖС И МЖС**

Вид застройки	Средняя	Квартал		Жилой район		
	этажность жилых домов	Коэффициент застройки жилыми домами, не более (процент)	Плотность застройки жилыми домами, не более, кв.м/га	Коэффициент застройки жилыми домами, не более (процент)	Плотность застройки жилыми домами, не более, кв.м/га	Плотность населения, не более, чел./га
Кластер смешанной малоэтажной жилой застройки (кластер МЖС)						
Многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка						
Блокированные жилые дома						
Индивидуальная жилая застройка	Не нормируется					

ПРИЛОЖЕНИЕ II. КРИТЕРИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ НОВОСТРОЕК

	Эконом	Комфорт	Бизнес	Премиум
Местоположение				
Район	Любой (обычно окраина города)	Любой	Центр и ближайшие районы	Центр и особые природные зоны
Дом				
Основной строительный материал	Блок Панель Кирпич	Сборный железобетон Бескаркасный кирпичный Монолитный железобетонный каркас	Кирпич Монолитный бетон	Кирпич Монолитный бетон
Материалы отделки	Синтетические	Синтетические	Синтетические и натуральные	Натуральные
Архитектурные решения	Стандартные	Стандартные Усовершенствованные стандартные	Индивидуальные	Авторский проект
Количество квартир в доме	Не ограничено	Не ограничено	до 120	до 50
Количество квартир на этаже				
Коммерция на нижних этажах	Возможно	Возможно	Возможно	Не допускается
Отопление	Центральное	Центральное с терморегуляцией	Автономное или центральное	Своя котельная
Энергоснабжение	10 кВт на квартиру, однофазное.	10 кВт на квартиру, однофазное.	Больше 10 кВт на квартиру Аварийное электроснабжение дома.	Больше 10 кВт на квартиру Аварийное электроснабжение дома.
Двор и подъезд				
Наземная парковка	Не обязательно	Не обязательно	Обязательно	Обязательно
Подземная парковка	Нет	Нет	Возможно	Обязательно
Огороженная территория	Возможно	Возможно	Возможно	Обязательно
Ландшафтный дизайн	Общее озеленение	Общее озеленение	Возможно	Обязательно
Безопасность	Домофон	Домофон Консьерж	Домофон Консьерж Видеонаблюдение Охрана 24/7	Домофон Консьерж Видеонаблюдение Охрана 24/7
Общие зоны	Типовая покраска и штукатурка стен Бетонное или керамическое	Светопрозрачные конструкции входных групп Колясочные и кладовые	Дизайнерский проект Оригинальное освещение Мебель	Дизайнерский проект Оригинальное освещение Мебель

	покрытие полов			Отделка камнем, деревом Декор (вазы, картины)
Квартира				
Внутренняя отделка	Стандартная Без отделки	Улучшенная Без отделки	Высококачественная Без отделки	Эксклюзивная Без отделки
Наличие свободной планировки	Возможно	Возможно	Обязательно	Обязательно
Средняя площадь однокомнатной квартиры	25 м ²	34 м ²	50 м ²	100 м ²
Средняя площадь комнаты	10 м ²	10 м ²	10-20 м ²	30 м ²
Средняя площадь кухни	8 м ²	10 м ²	14 м ²	20 м ²
Высота потолков	до 2,7 м	от 2,7 м	от 2,75 м	от 3 м
Окна	Отечественные	Отечественные Импортные	Импортные	Импортные, Повышенная площадь остекления

**П
Р**

Тип жилища	Этажность	Число лифтов	И Грузо- Подъемность, кг О	Скорость, м/с	Наибольшая поэтажная площадь квартир, м ²
Многоквартирные жилые дома жилища I и II категорий			Ж		
			Е		
			Н		
			И		
			Е		
			І		
			І		
ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЛИФТОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЗДАНИЯ			І		
Специализированные дома для престарелых, специализированные дома и группы квартир для семей с инвалидами (в жилище II категории)			.		

ПРИЛОЖЕНИЕ IV. НОРМИРУЕМАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СУММАРНОЙ ИНСОЛЯЦИИ

Типы квартир	Минимальное количество	Нормируемая продолжительность суммарной инсоляции, час-мин, в расчетных комнатах			
	расчетных комнат	При ориентации световых проемов в секторах с азимутом, градусы			
					45 — 75;
Для центральной части и исторических зон города					
Все типы квартир					
Для остальной территории города					
Однокомнатные					ориентация не допускается
Двухкомнатные					
Трехкомнатные					
Многокомнатные квартиры (4-х и более)					

ПРИЛОЖЕНИЕ V. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЗАСТРОЙКИ

Продолжительность инсоляции, час	Плотность застройки, тыс. кв. м/га
не менее 2-00	до 15,0
не менее 1-30	свыше 15,0

**ПРИЛОЖЕНИЕ VI. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ**

Время инсоляции	Гигиеническая оценка	Характеристика эффектов
От 0 до 50 мин	Выраженная недостаточность инсоляции	Низкий бактерицидный эффект, негативная психофизиологическая реакция (жалобы на недостаточность инсоляции в 80% случаев)
От 50 мин до 1,5 час	Недостаточность инсоляции	Высокий бактерицидный эффект, негативная психофизиологическая реакция (жалобы на недостаточность инсоляции в 50% случаев)
От 1,5 час до 2,5 час	Достаточная инсоляция (зона комфорта)	Высокий бактерицидный эффект, позитивная психофизиологическая реакция (жалоб нет)
Более 2,5 час	Избыточная инсоляция	Негативная психофизиологическая реакция (жалобы на перегрев более чем в 50% случаев)

**ПРИЛОЖЕНИЕ VII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГОДОВОЙ ИНСОЛЯЦИИ В ЧАСАХ В
ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ ОСИ ОКНА ЖИЛОГО
ПОМЕЩЕНИЯ**

Широта (о т	Направление оси окна в секторах с азимутом (0° —	Гигиеническая классификация продолжительности инсоляции	Среднегодовая инсоляция (часов в сутки) (0; 1,5; 2; 2,5 часа)
Северная зона (севернее		Выраженная недостаточность	
		Недостаточна инсоляция	Менее 2,5
		Достаточная инсоляция	
		Избыточная инсоляция	Более 2,5
Центральна я зона (58°		Выраженная недостаточность	
		Недостаточна инсоляция	Менее 2
		Достаточная инсоляция	
		Избыточная инсоляция	Более 2
Южная зона (южнее 48° с.ш.)		Выраженная недостаточность	
		Недостаточна инсоляция	Менее 1,5
		Достаточная инсоляция	
		Избыточная инсоляция	Более 1,5

**ПРИЛОЖЕНИЕ VIII. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ОСИ ОКНА ЖИЛОГО
ПОМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ГИГИЕНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ ПО
ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНСОЛЯЦИИ**

Широта (от 46°— 66°)	Среднегодовая инсоляция (часов в сутки)	Количество расчетных комнат (шт.)	Направление оси окна в секторах с азимутом *
Северная зона (севернее 58° с.ш.)			
	3 и более		
Центральная зона (58° - 48° с.ш.)			
	2,5 и более		
Южная зона (южнее 48° с.ш.)			

	2 и более		

* координаты солнца при его движении по условному небосводу, угол между нулевым направлением круга горизонта и проекцией солнечного луча на горизонтальную плоскость.

ПРИЛОЖЕНИЕ IX. ОЦЕНКА КАТЕГОРИИ СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Категория состояния здания	Виды повреждений			Износ конструкций,
	Несущих стен, столбов, элементов каркаса, (колонн, балок, ригелей и др.), фундаментов	Ограждающих стен	Перекрытий, лестниц, сводов	
I - нормальное Выполняются требования норм и проектной документации по условиям эксплуатации. Необходимость ремонтных работ отсутствует	В каменной кладке отсутствуют видимые дефекты и повреждения. Имеются трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы. В железобетонных конструкциях видимых дефектов и повреждений нет или имеются отдельные небольшие выбоины, сколы, волосяные трещины (не более 0,1 мм). Антикоррозионная защита конструкций и закладных деталей не имеет нарушений. Величины прогибов и ширина раскрытия трещин не превышает допустимых по нормам В металлических конструкциях отсутствуют признаки, характеризующие износ конструкций, и повреждения защитных покрытий	Отсутствуют видимые повреждения и трещины	Сдвигов и трещин нет	До 5
II - удовлетворительное С учетом фактических свойств материалов удовлетворяются требования действующих норм, относящиеся к предельным состояниям I группы, требования норм II группы могут быть нарушены, но обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется текущий ремонт с устранением локальных повреждений без усиления конструкций	В каменной кладке имеются трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной не более 15 см). Отслоение облицовки на глубину до 15 % толщины. В железобетонных конструкциях на отдельных участках в местах с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии арматуры; потери сечения рабочей арматуры не более 5 %. Ориентировочная прочность бетона в пределах защитного слоя ниже проектной не более чем на 10 %. В металлических конструкциях местами разрушено антикоррозионное покрытие. На некоторых участках - коррозия отдельными пятнами с поражением до 5 % сечения. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5 %	Волосяные трещины в кладке и швах между панелями	Повреждений и сдвигов нет	До 15-
III - неудовлетворительное Нарушены требования действующих норм, но отсутствуют опасность обрушения и угроза безопасности людей. Требуется усиление и восстановление несущей способности поврежденных конструкций	В каменной кладке средние повреждения. Промораживание и выветривание кладки. Отслоение облицовки на глубину до 25 % толщины. Вертикальные и косые трещины (независимо от величины раскрытия) в стенах и столбах, пересекающие не более четырех рядов кладки. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами. Снижение несущей способности кладки до 25 %.	Вертикальные и наклонные трещины с раскрытием до 5 мм	Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см	До 25-
	В железобетонных конструкциях трещины в растянутой зоне бетона с раскрытием, превышающим допустимое. Трещины в сжатой зоне и в зоне главных растягивающих напряжений, прогибы элементов, вызванные эксплуатационными воздействиями, превышают допустимые более чем на Снижение прочности бетона в сжатой зоне изгибаемых			

	элементов до 30 и на остальных участках до 20 %. Высокая водо- и воздухопроницаемость стыков стеновых панелей. В металлических конструкциях прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета. Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15 %. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до			
IV - предаварийное или аварийное Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности конструкций к эксплуатации, об опасности их обрушения и опасности пребывания людей в зоне расположения конструкций	В каменной кладке сильные повреждения. В конструкциях наблюдаются деформации, повреждения, дефекты, свидетельствующие о снижении их несущей способности до 50 %. Промораживание и выветривание кладки на глубину до 40 % толщины. Вертикальные и косые трещины в несущих стенах и столбах более четырех рядов кладки. Ширина раскрытия трещин в кладке от неравномерной осадки здания достигает 50 мм и более, отклонение от вертикали на величину более 1/50 высоты конструкции.	Трещины с раскрытием более 5 мм, сдвиги панелей	Трещины и сдвиги в сопряжениях, разрыв анкеров	Свыше
	Смещение (сдвиг) стен, столбов, фундаментов по горизонтальным швам или косой штрабе. В конструкции имеет место снижение прочности камней и раствора на 30-50 %. Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене. Наблюдается разрушение кладки от смятия в опорных зонах ферм, балок, перемычек. В железобетонных конструкциях трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия, трещины, в том числе пересекающие опорную зону анкеровки растянутой арматуры, разрыв хомутов в зоне наклонной трещины в средних пролетах многопролетных балок и плит, а также слоистая ржавчина или язвы, вызывающие уменьшение площади сечения арматуры более 15 %, выпучивание арматуры сжатой зоны конструкций, деформация закладных и соединительных элементов, расстройство стыков сборных элементов с взаимным смещением последних, смещение опор, значительные (более 1/50 пролета) прогибы изгибаемых элементов, разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне, раздробление бетона и выкрашивание заполнителя в сжатой зоне. Уменьшенная против требований норм и проекта площадь опирания сборных элементов. В металлических конструкциях прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета.			
	Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отдельных болтов или заклепок в многоболтовых соединениях. Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25 % и более. Трещины в сварных швах в околошовной зоне. Расстройство узловых соединений; разрывы отдельных растянутых элементов; наличие трещин в основном материале элементов; расстройство стыков и взаимное смещение опор.			

ПРИЛОЖЕНИЕ X СТРУКТУРЫ И ПЕРЕМЕННЫЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ

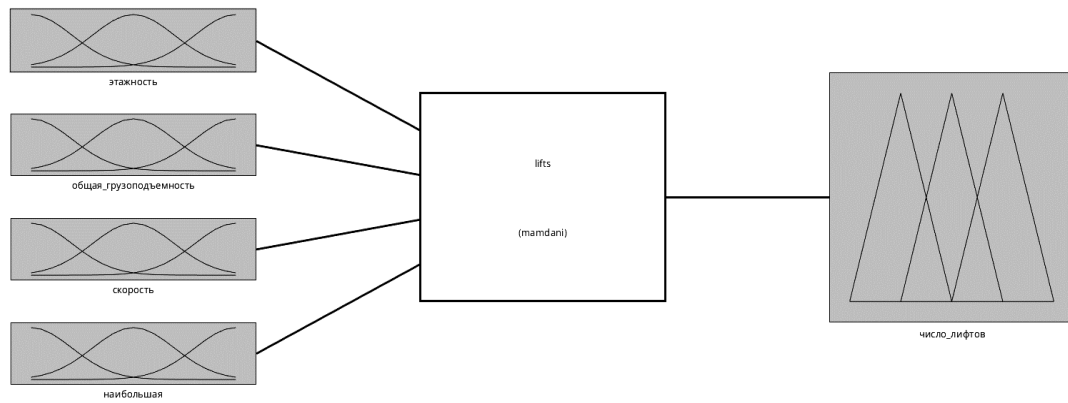


Рисунок X.1. Структурная схема нечеткой экспертной системы с 4 входами и одним выходом для подбора количества лифтов в здании

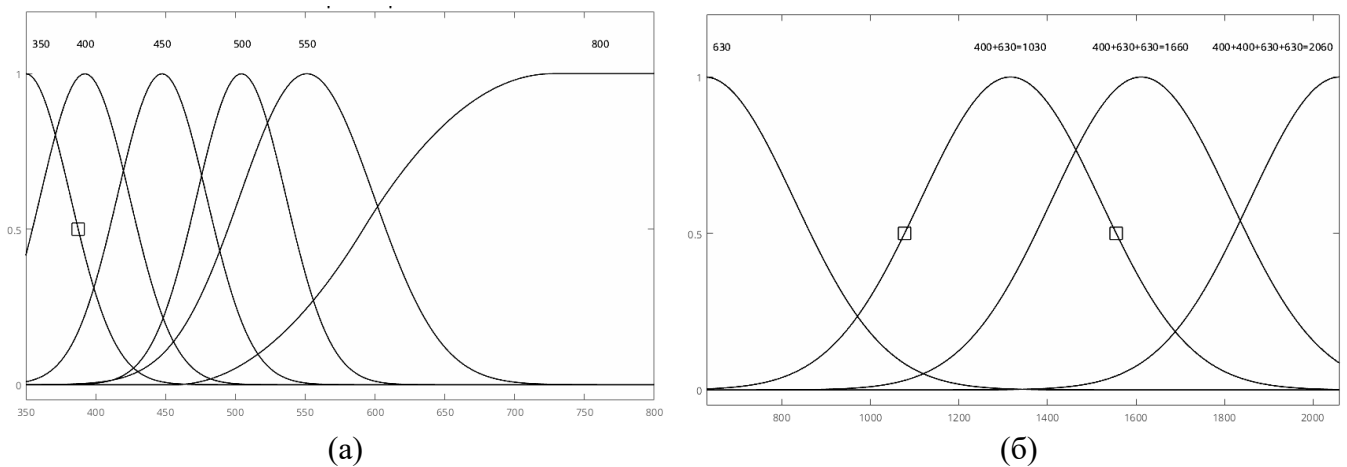


Рисунок X.2 (а). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «наибольшая поэтажная площадь квартир», м² (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «общая грузоподъемность», кг

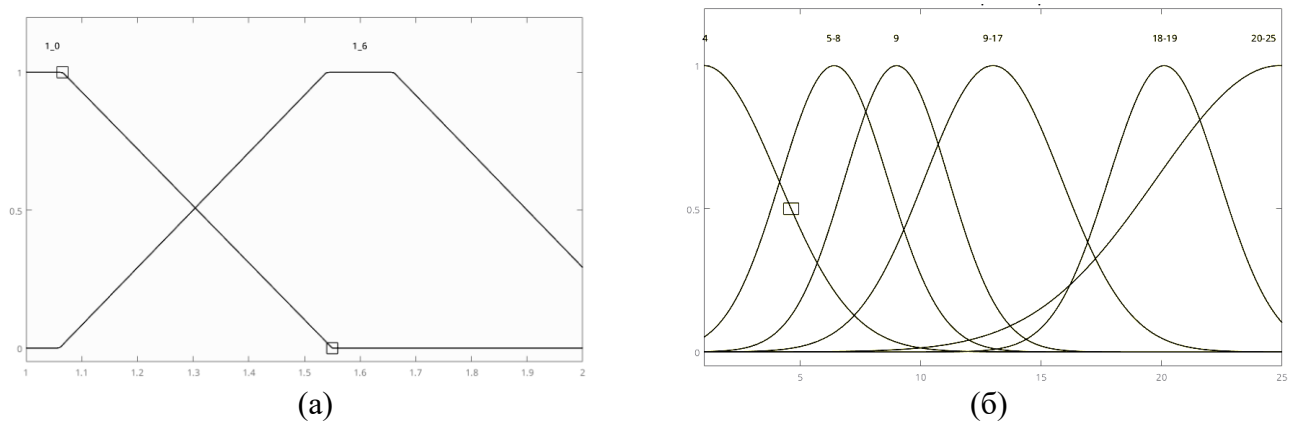


Рисунок X.3 (а) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «скорость», м/с (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «этажность», число этажей

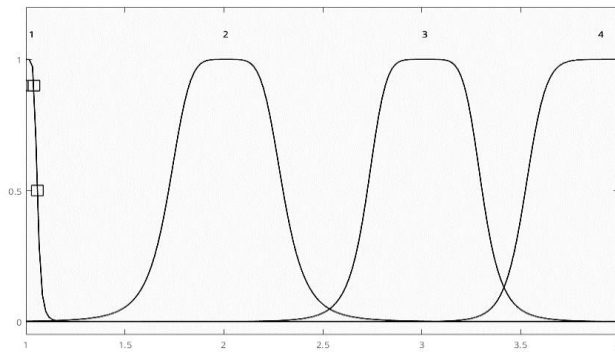


Рисунок X.4. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «число лифтов», шт.

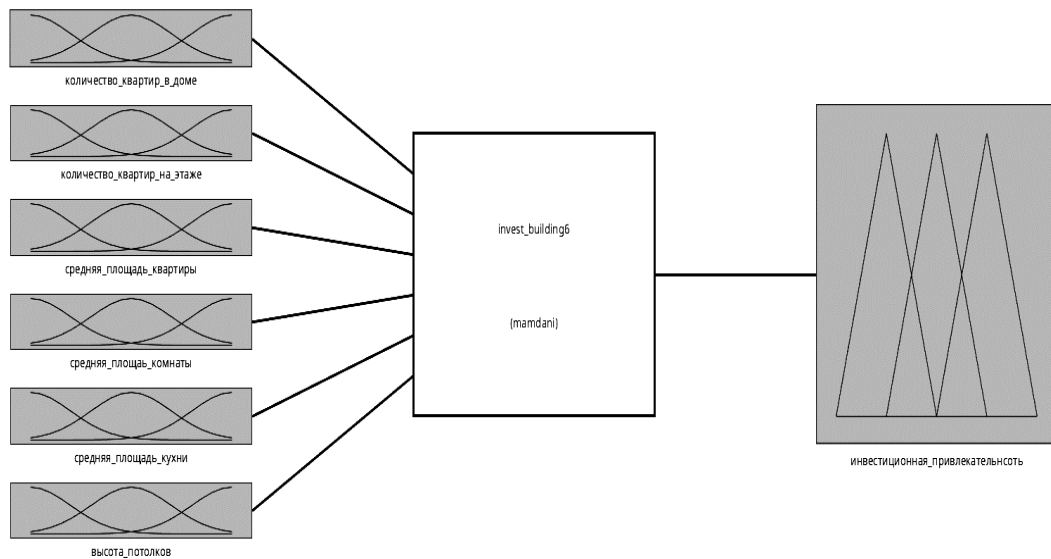
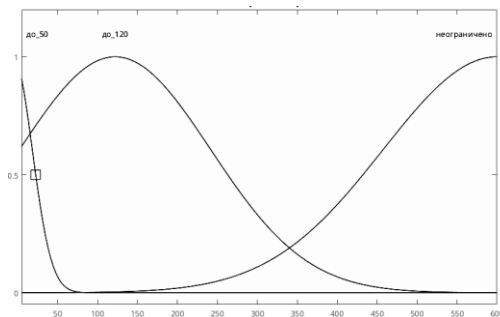
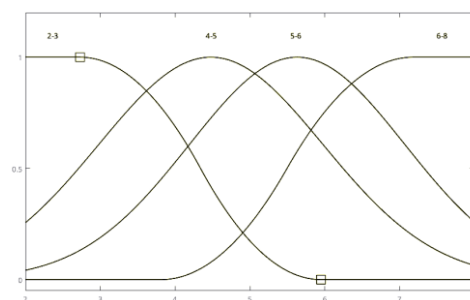


Рисунок X.5. Структурная схема нечеткой экспертной системы с 6 входами и одним выходом для оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов

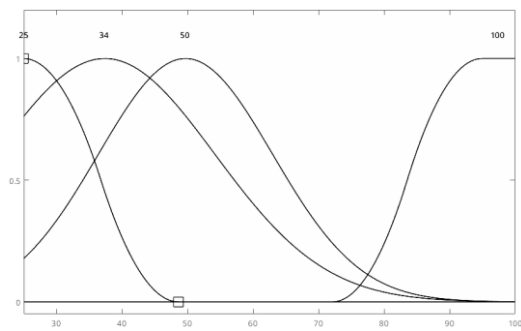


(а)

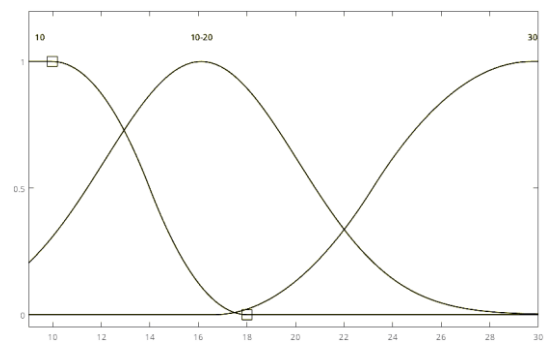


(б)

Рисунок X.6 (а). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «количество квартир в доме», шт. (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «количество квартир на этаже», шт.

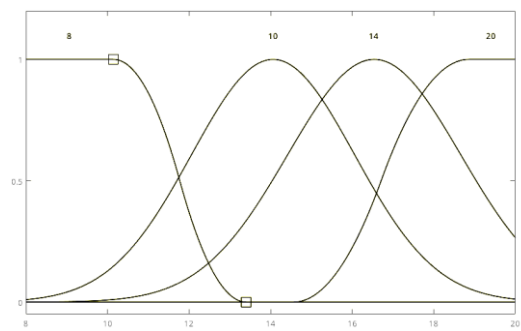


(a)

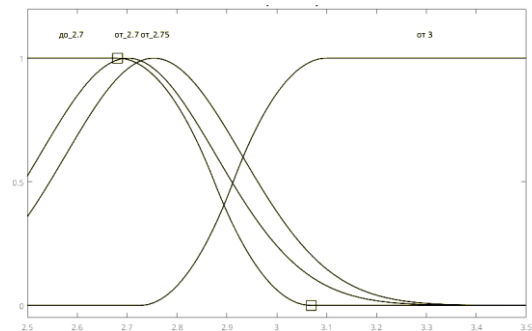


(б)

Рисунок X.7. (a) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «средняя площадь квартиры», м² (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «средняя площадь комнаты», м²



(a)



(б)

Рисунок X.8(a). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «средняя площадь кухни», м², (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «высота потолков», м

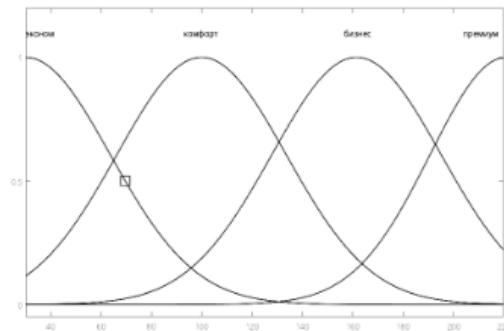


Рисунок X.9. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «инвестиционная привлекательность», млн. р.

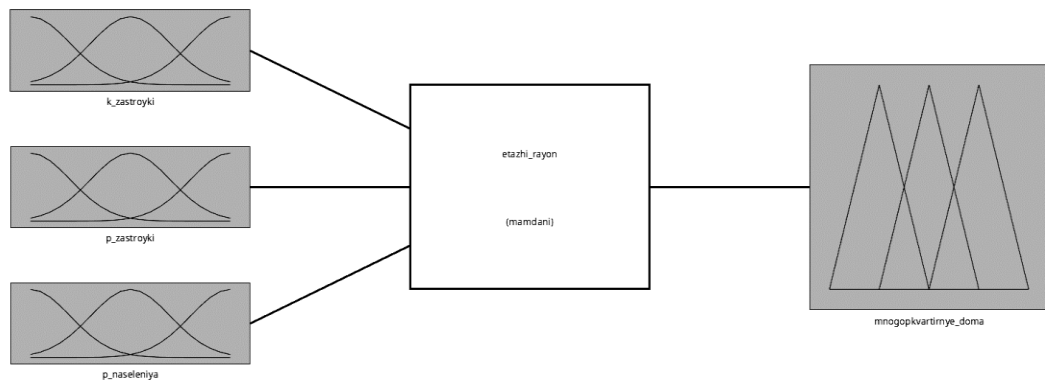


Рисунок X.10. Структурная схема нечёткой экспертной системы с тремя входами и одним выходом для расчёта количества этажей в доме (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для жилых районов)

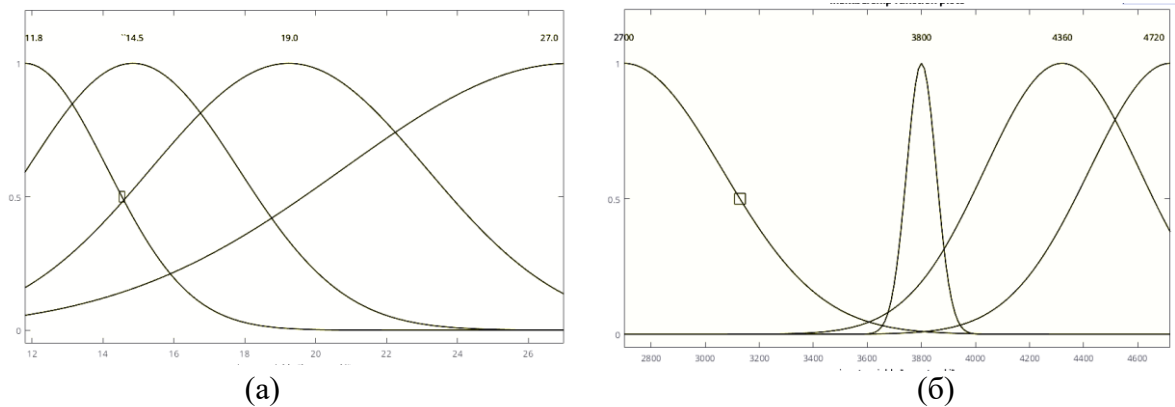


Рисунок X.11(a). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «коэффициент застройки жилыми домами», % (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «плотность застройки жилыми домами», м²/га

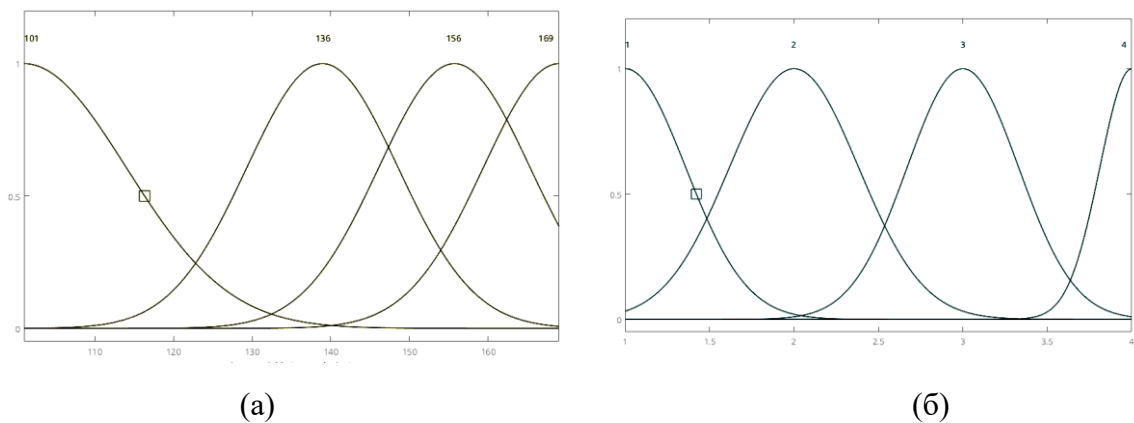


Рисунок X.12 (a). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «плотность населения», чел/га, (б) Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «этажность жилого дома», число этажей

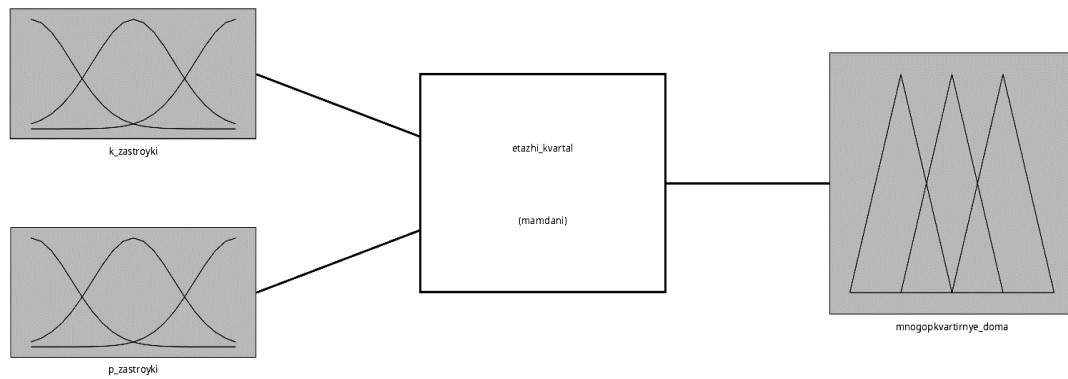


Рисунок X.13. Структурная схема нечеткой экспертной системы с двумя входами и одним выходом для расчета количества этажей в доме (многоквартирные жилые дома, смешанная жилая застройка для кварталов)

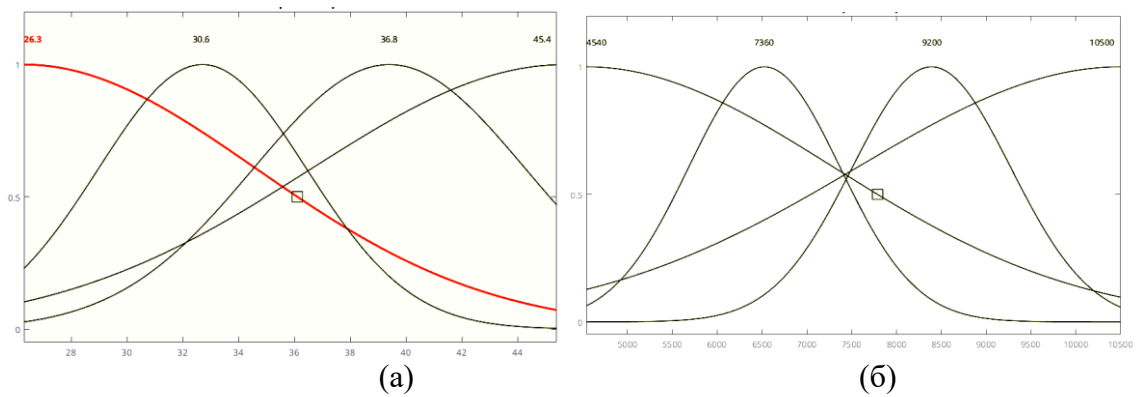


Рисунок X.14(a). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «коэффициент застройки жилыми домами», %
 (б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «плотность застройки жилыми домами», $\text{м}^2/\text{га}$

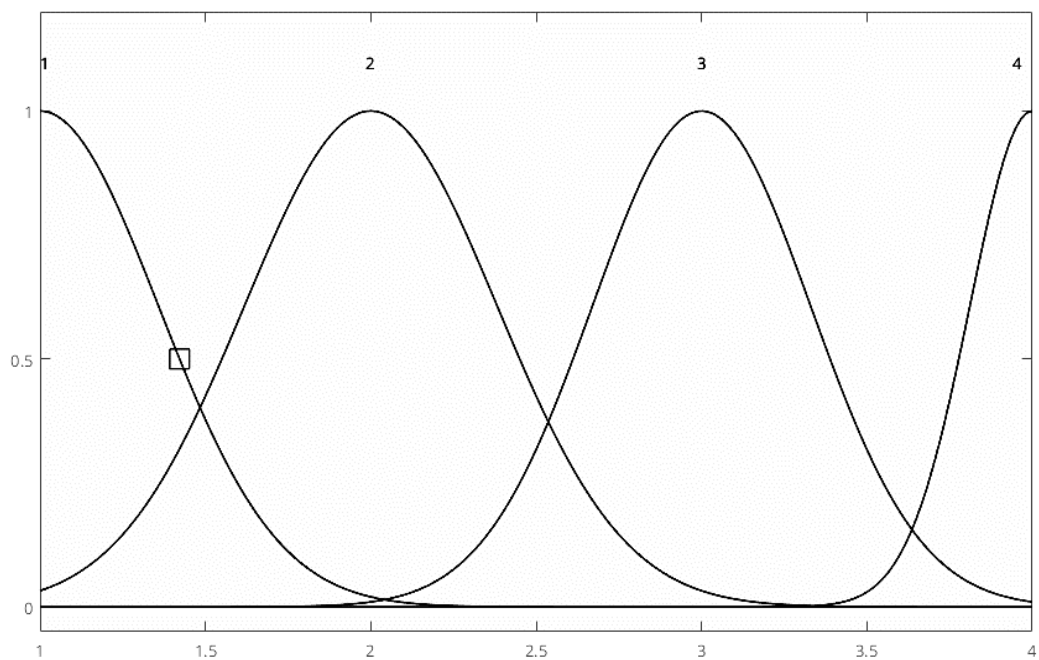


Рисунок X.15. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «этажность жилого дома», число этажей

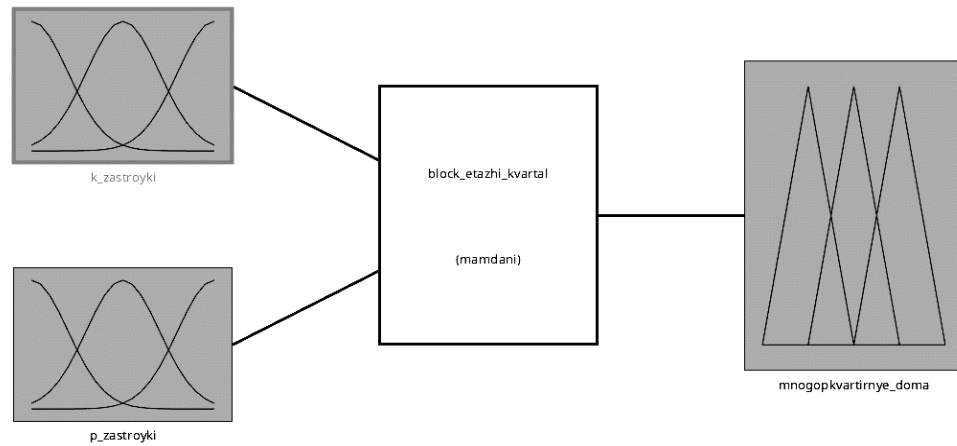
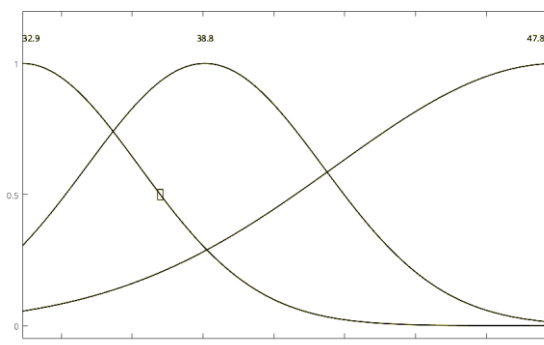
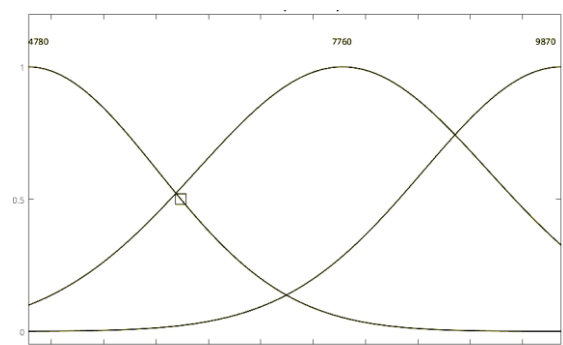


Рисунок X.16. Структурная схема нечеткой экспертной системы с двумя входами и одним выходом для расчета количества этажей в доме (блокированные жилые дома, для кварталов)



(а)



(б)

Рисунок X.17.(а). Функции принадлежности входной лингвистической переменной «коэффициент застройки жилыми домами», %
(б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «плотность застройки жилыми домами», м²/га

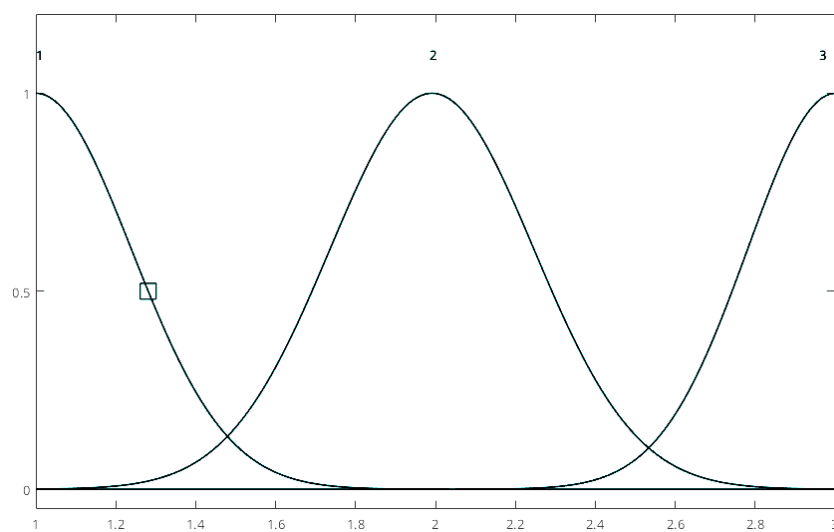


Рисунок X.18. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «этажность жилого дома», число этажей

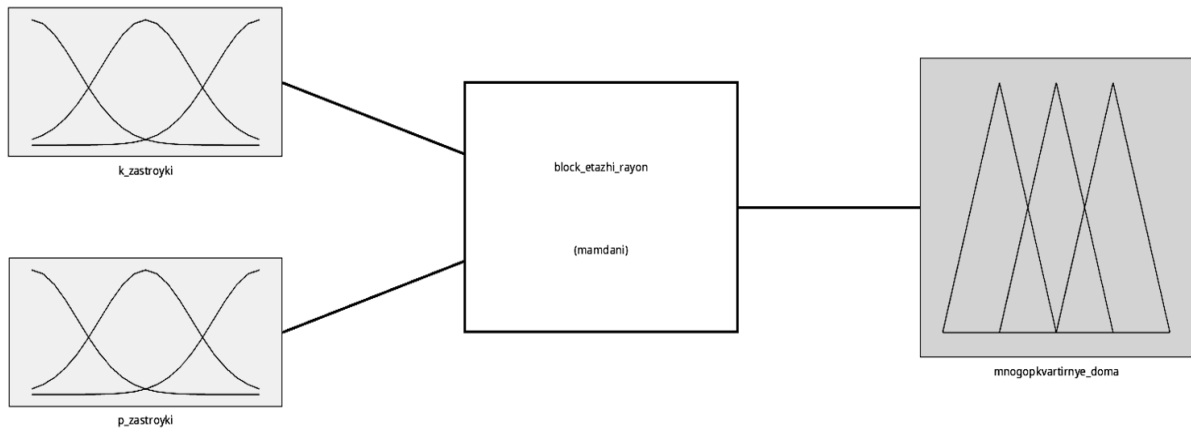


Рисунок X.19. Структурная схема нечеткой экспертной системы с двумя входами и одним выходом для расчета количества этажей в доме (блокированные жилые дома, для жилых районов)

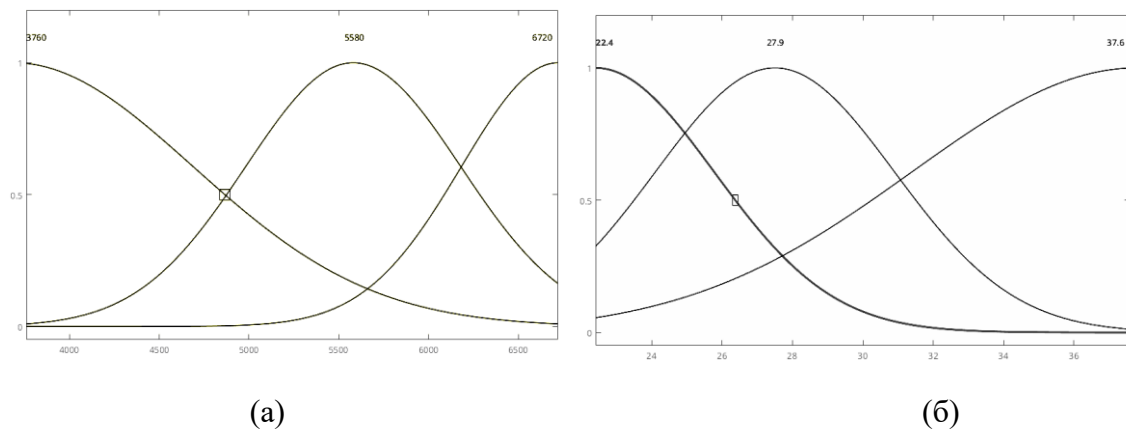


Рисунок X.20. (а) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «плотность застройки коэффициент застройки жилыми домами», $\text{м}^2/\text{га}$
(б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «коэффициент застройки жилыми домами», %

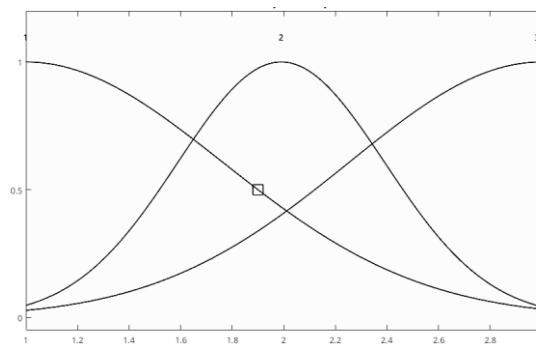


Рисунок X.21. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «этажность жилого дома», число этажей

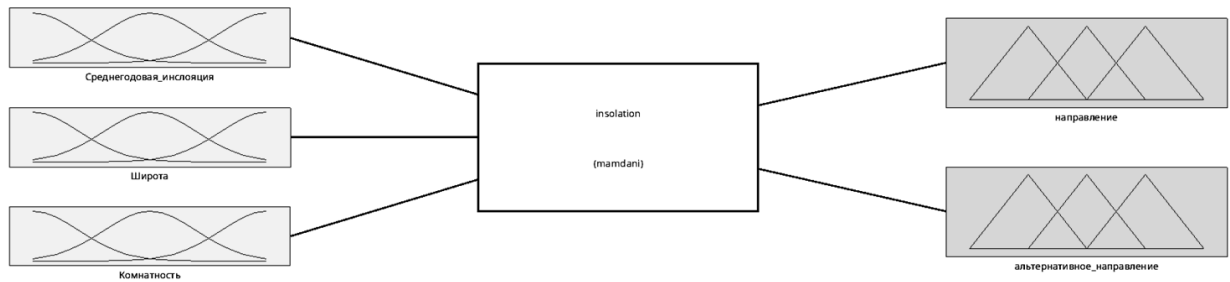


Рисунок X.22. Структурная схема нечеткой экспертной системы с двумя входами и двумя выходами для расчета направления оси окна в зависимости от параметров инсоляции при посадке здания

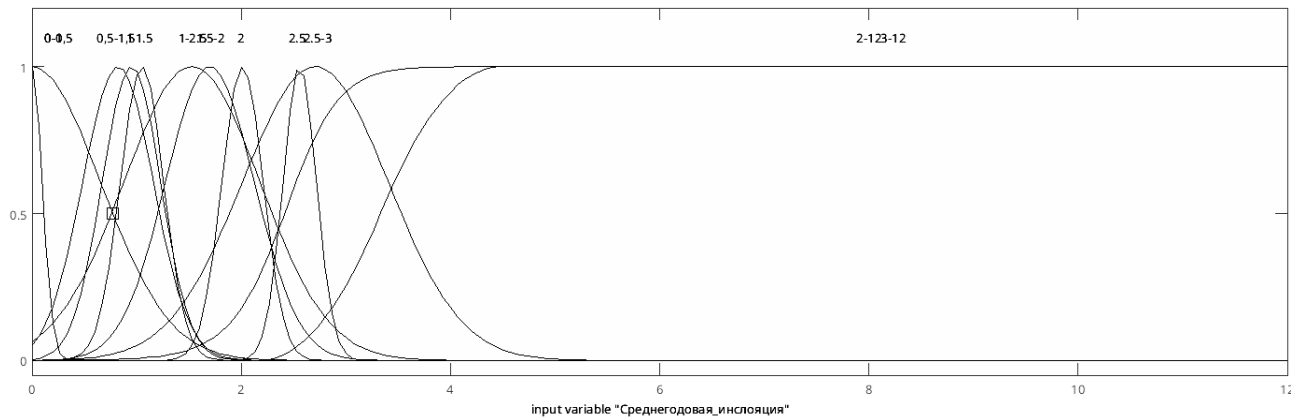


Рисунок X.23. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «Среднегодовая инсоляция», час / сут

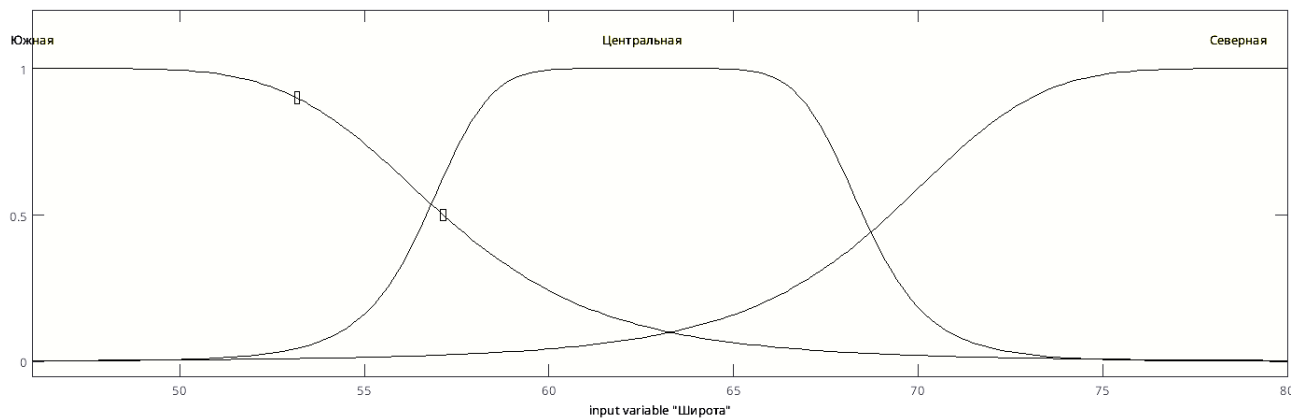


Рисунок X.24. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «географическая широта», град.

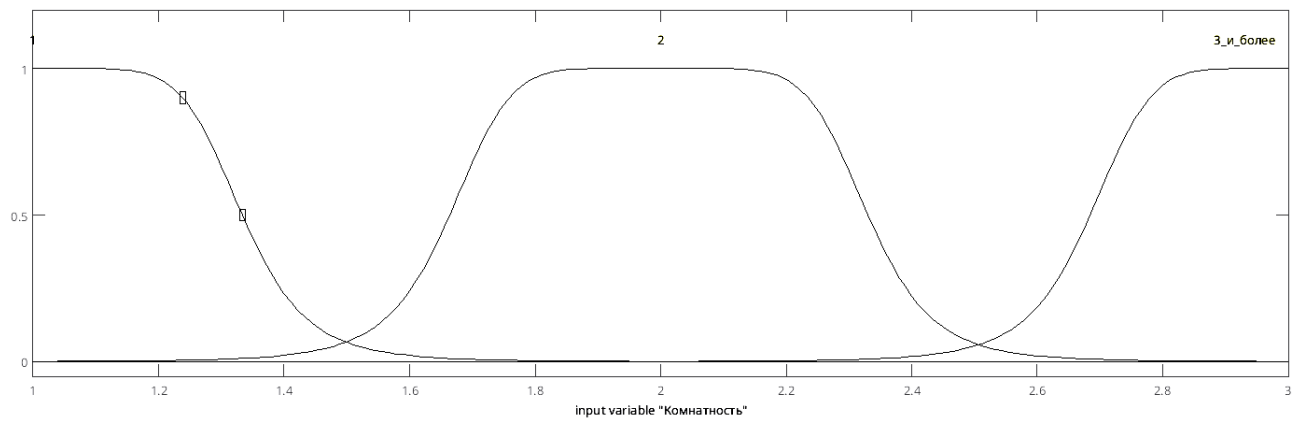


Рисунок X.25. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «количество комнат», шт.

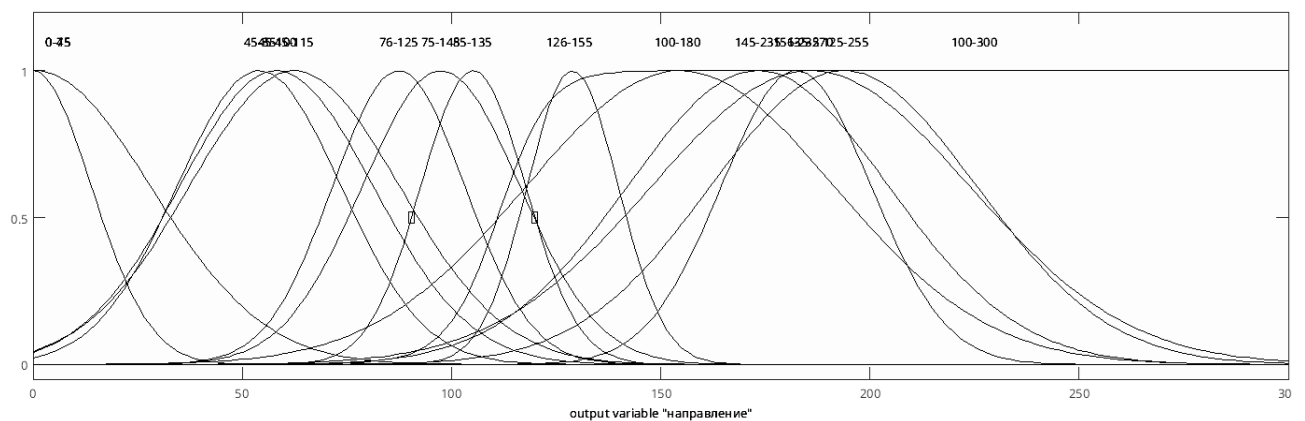


Рисунок X.26. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «направление оси окна», град.

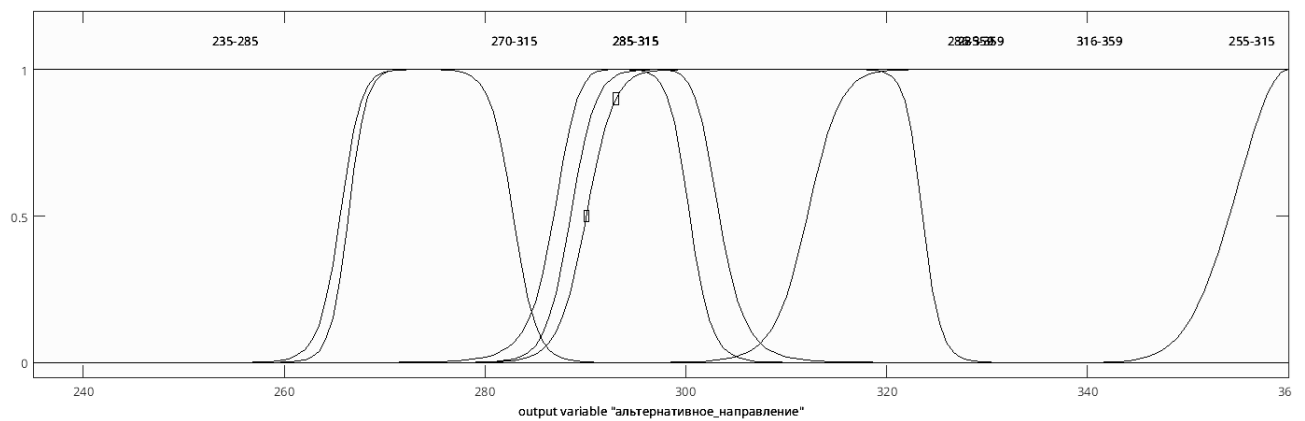


Рисунок X.27. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «альтернативное направление оси окна», град.

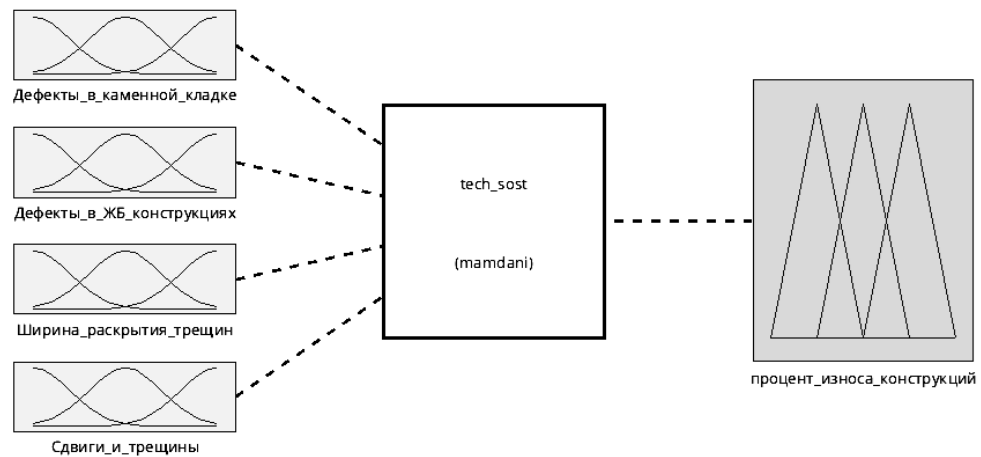


Рисунок X.28. Структурная схема нечеткой экспертной системы с четырьмя входами и одним выходом для расчета процента износа конструкций и определения категории состояния зданий по внешним признакам

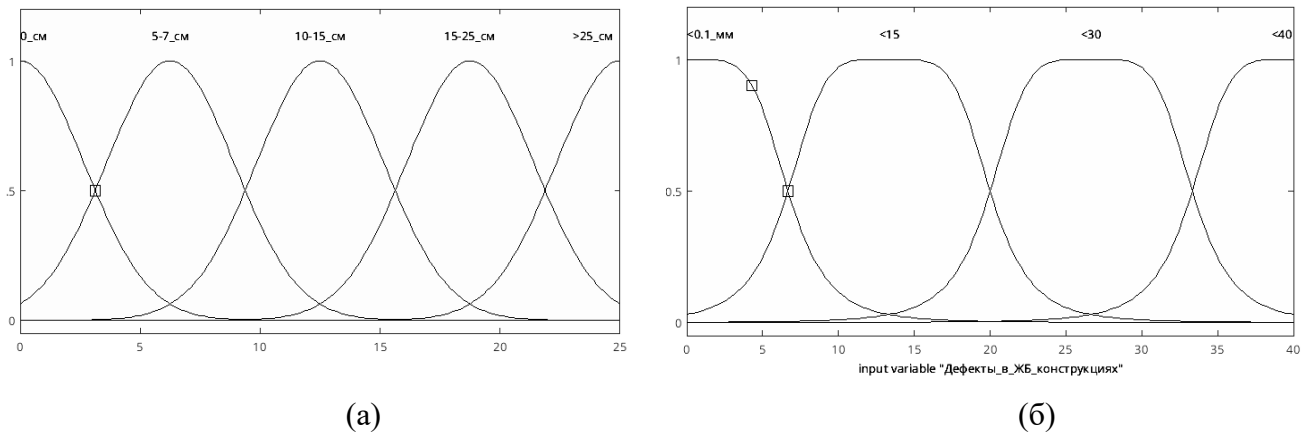
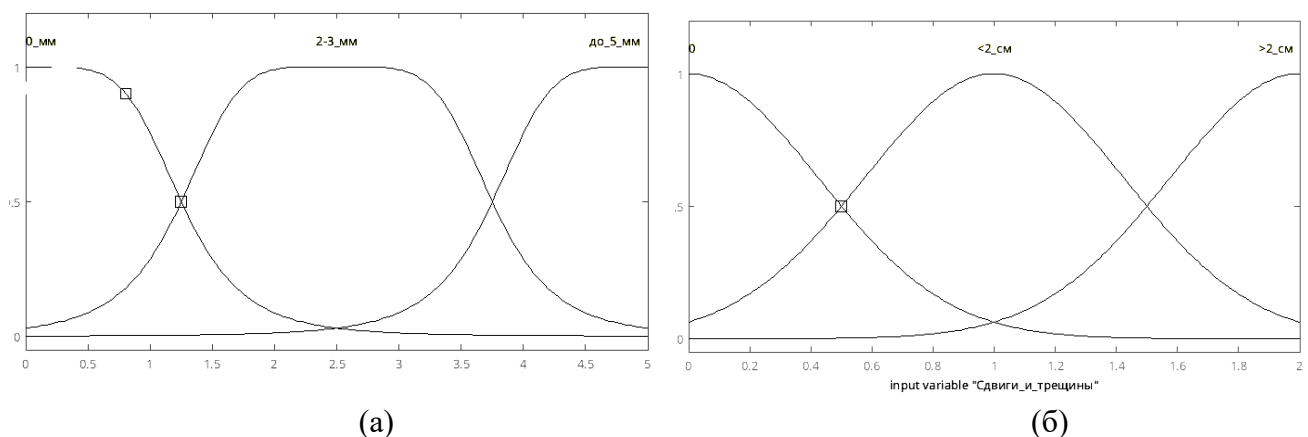


Рисунок X.29. (a) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн», см
(б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «дефекты в ЖБ конструкциях», %



X.30. (a) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «ширина раскрытия трещин в наружных стенах», мм
(б) Функции принадлежности входной лингвистической переменной «сдвиги и трещины в перекрытиях», см

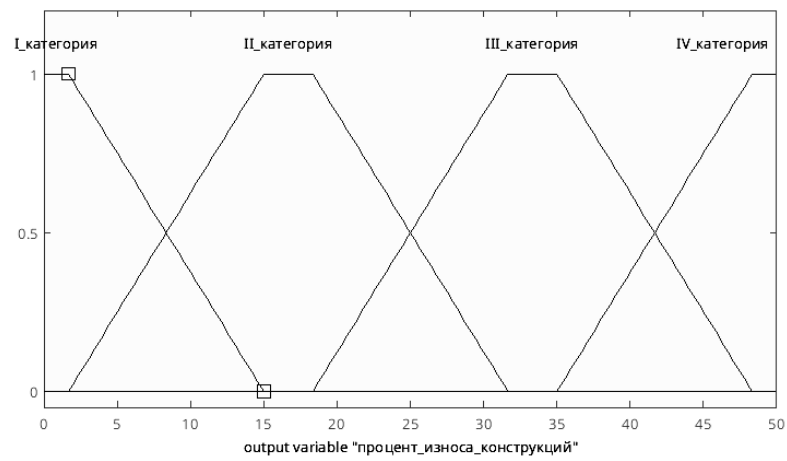


Рисунок X.31. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «процент износа конструкций», %

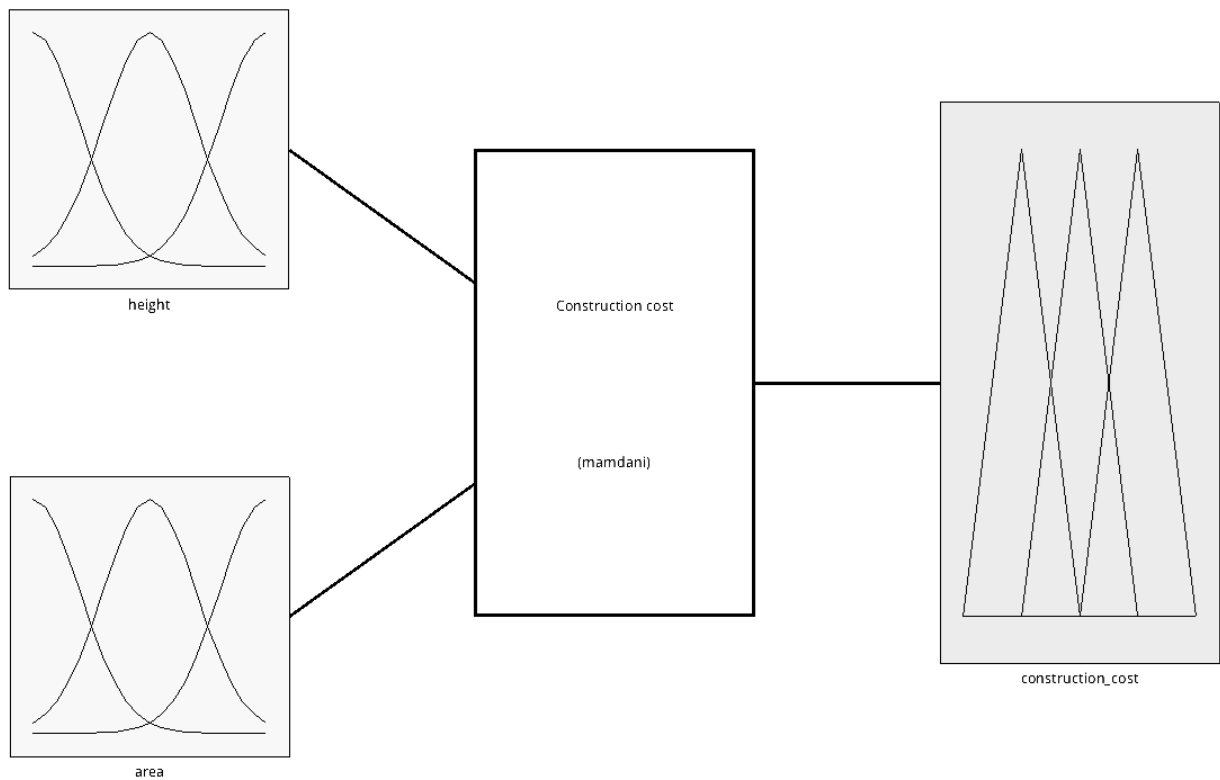


Рисунок X.32. Структурная схема нечеткой экспертной системы с двумя входами и одним выходом для расчета индекса привлекательности строительства по соотношению полезной площади к площади, занимаемой инженерными коммуникациями

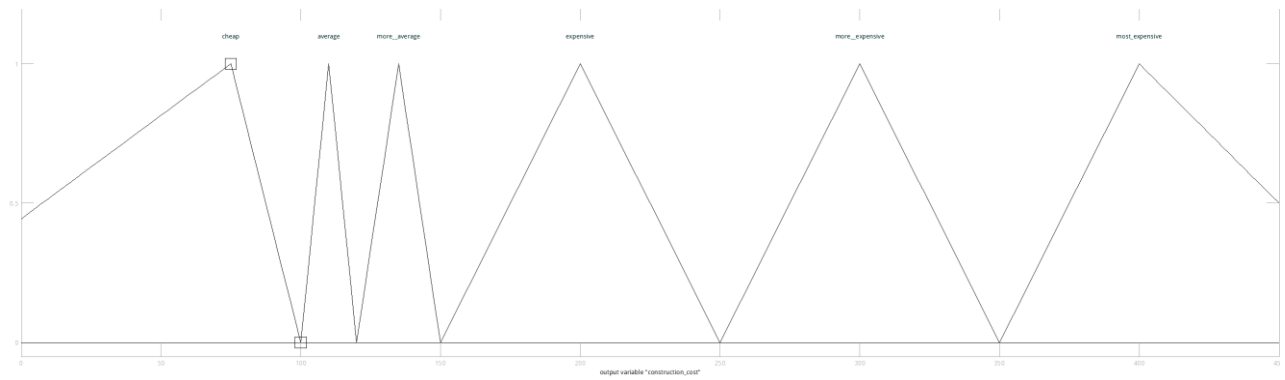


Рисунок X.33. Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «оценка стоимости инженерных коммуникаций», млн. р.

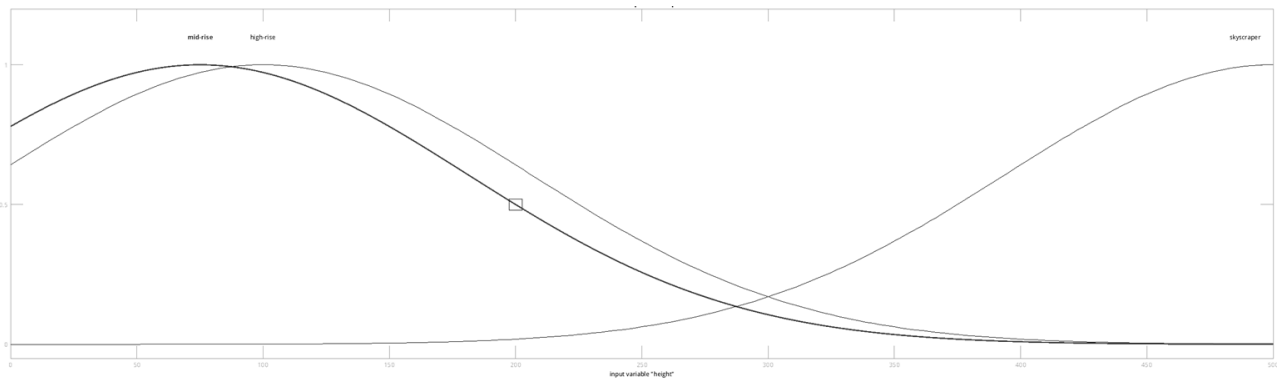


Рисунок X.34. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «высота здания», м

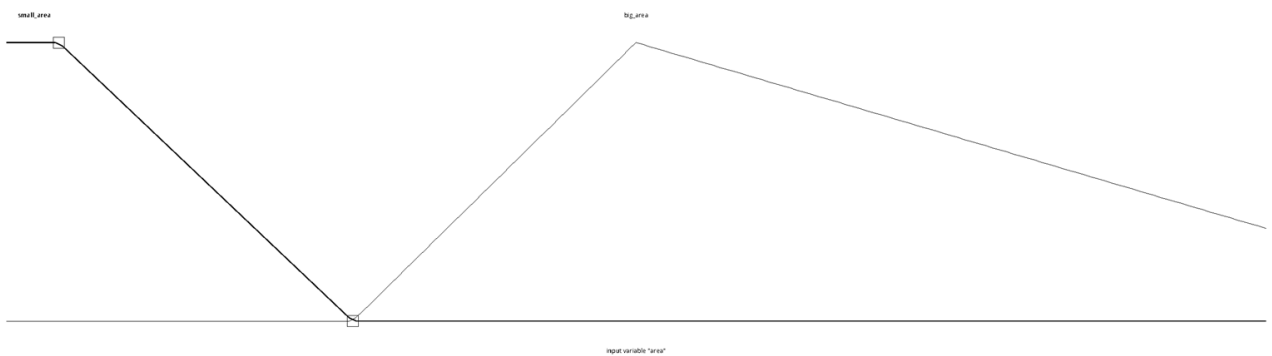


Рисунок X.35. Функции принадлежности входной лингвистической переменной «общая площадь», м²

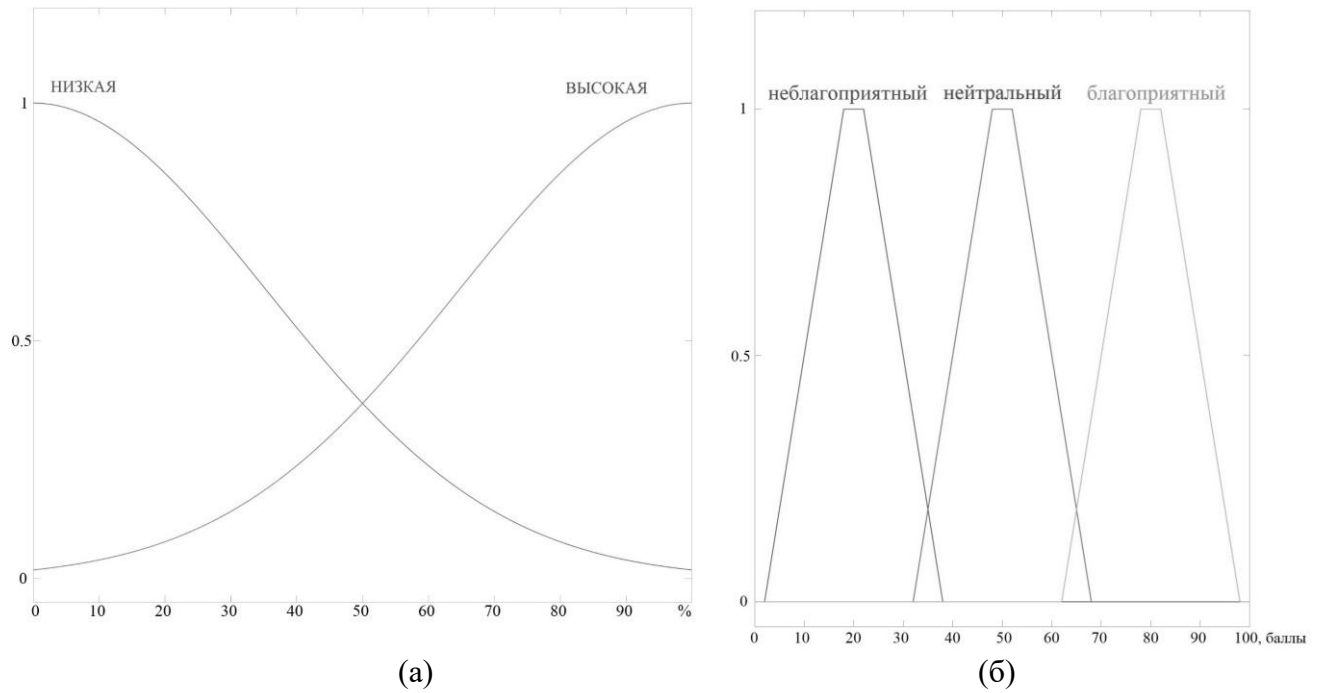


Рис. X.36. Графики функций принадлежности переменной «динамика строительства», относительная величина, учитывающая интенсивность строительства, проценты (а); «интегральный макроэкономический фактор», баллы (б)

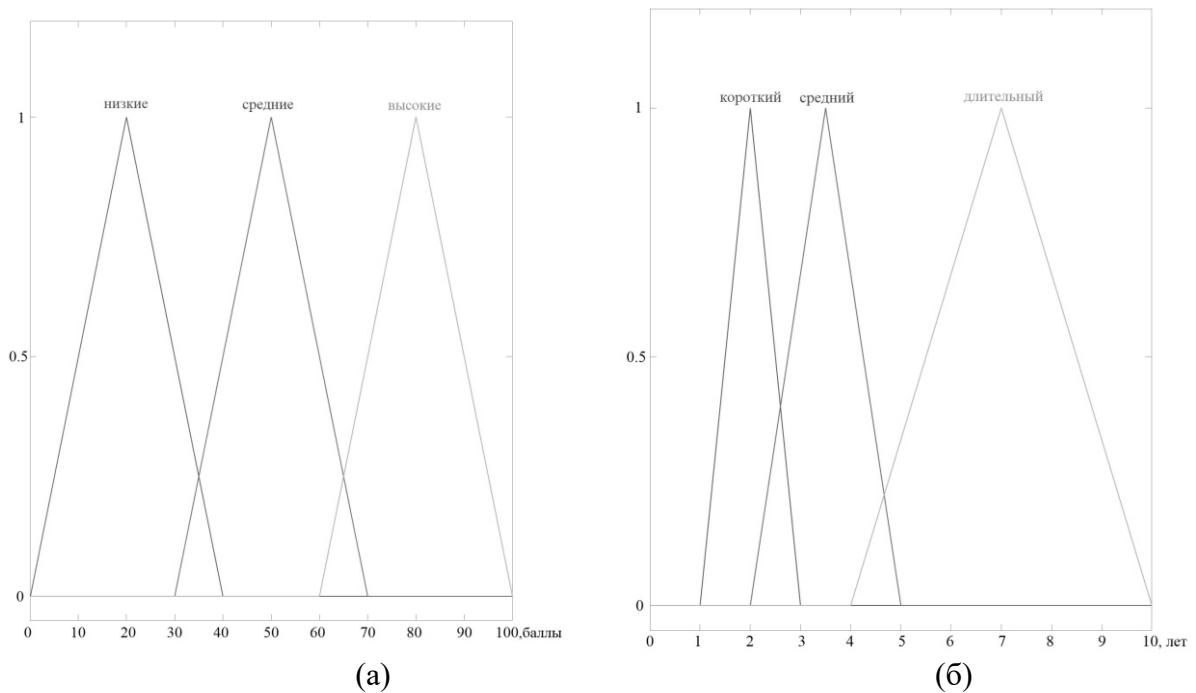


Рис. X.37. Графики функций принадлежности переменной «рыночный спрос на недвижимость», баллы (а); «срок окупаемости инвестиций», лет (б)

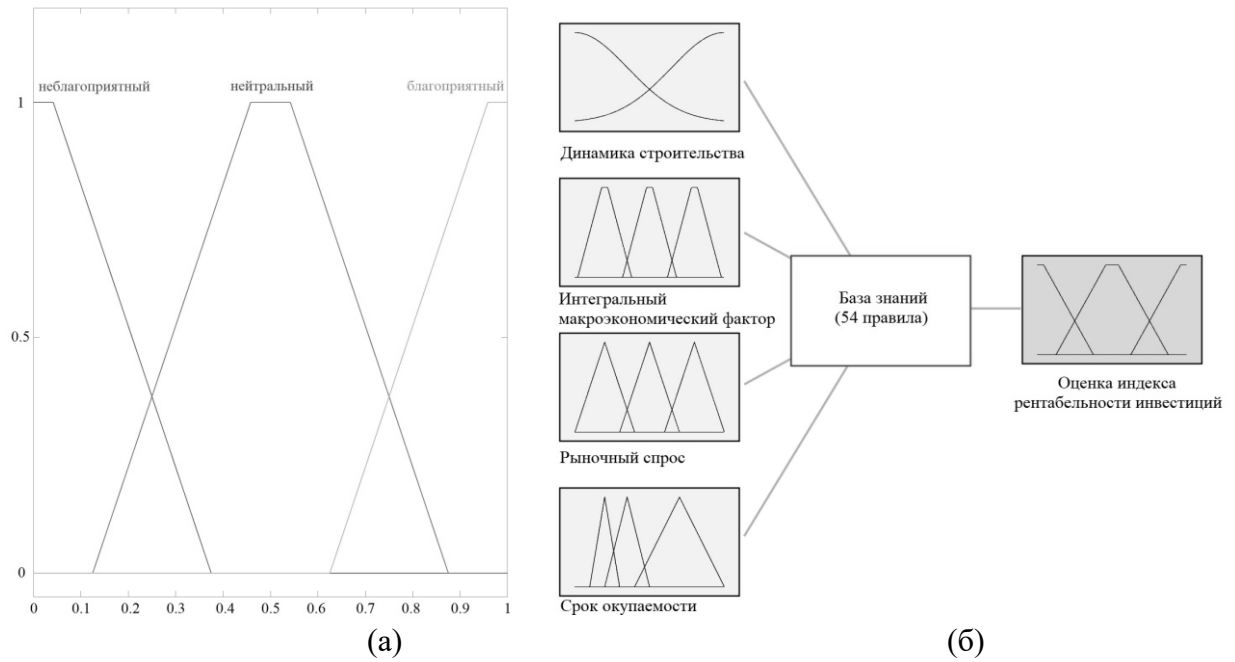


Рис. X.38. Графики функций принадлежности переменной «индекс рентабельности», безразмерная величина (а); схема экспертной системы оценки индекса рентабельности инвестиций и инвестиционных рисков строительства объектов жилой застройки на основе региональных данных ДЗЗ (б)

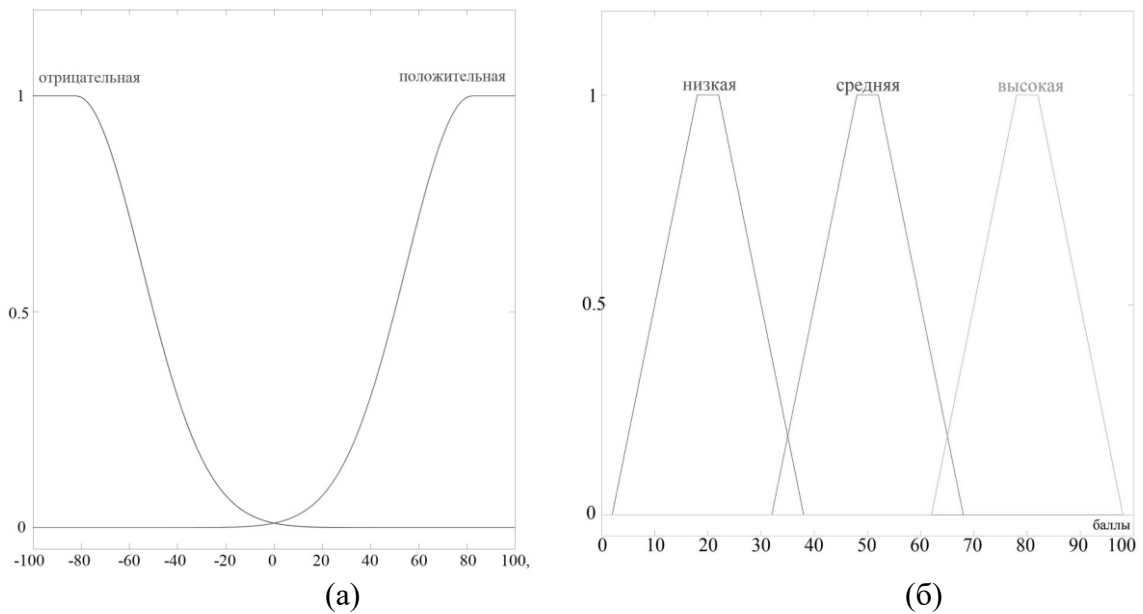


Рис. X.39. Графики функций принадлежности переменной «динамика изменения строительства по данным наблюдений ДЗЗ», баллы (а); «оценка инфраструктурной активности по данным наблюдений ДЗЗ», баллы (б)

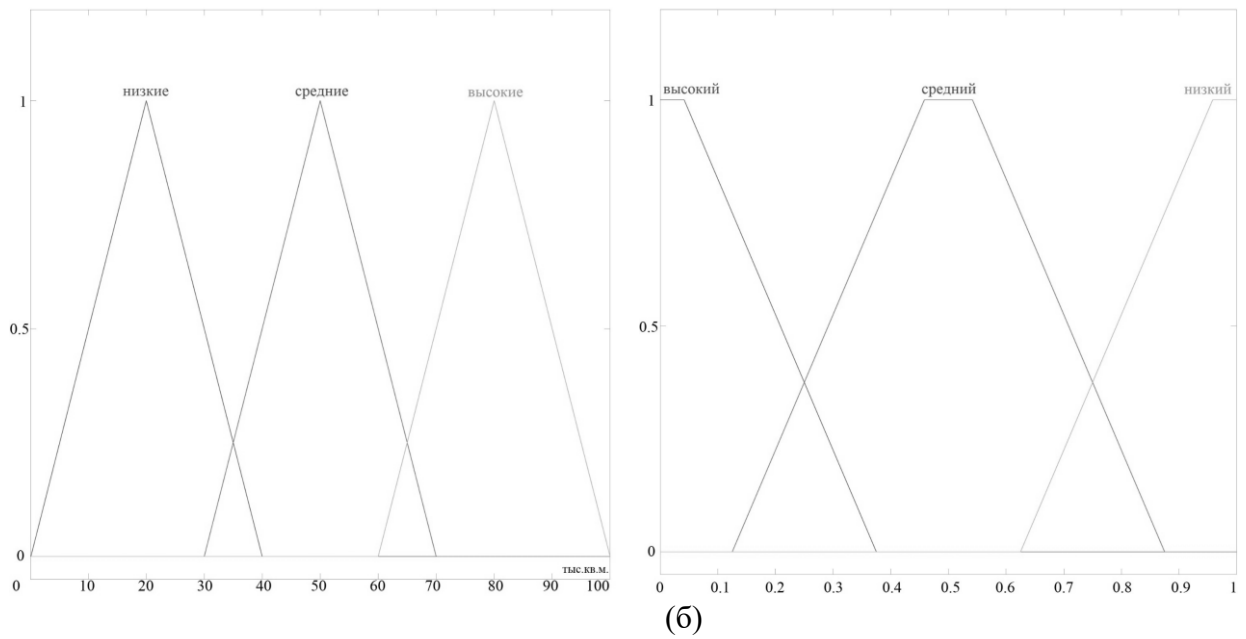


Рис. X.40. Графики функций принадлежности переменной «планируемые объёмы строительства», тыс. кв. м. (а); «инвестиционный риск», безразмерная величина (б)

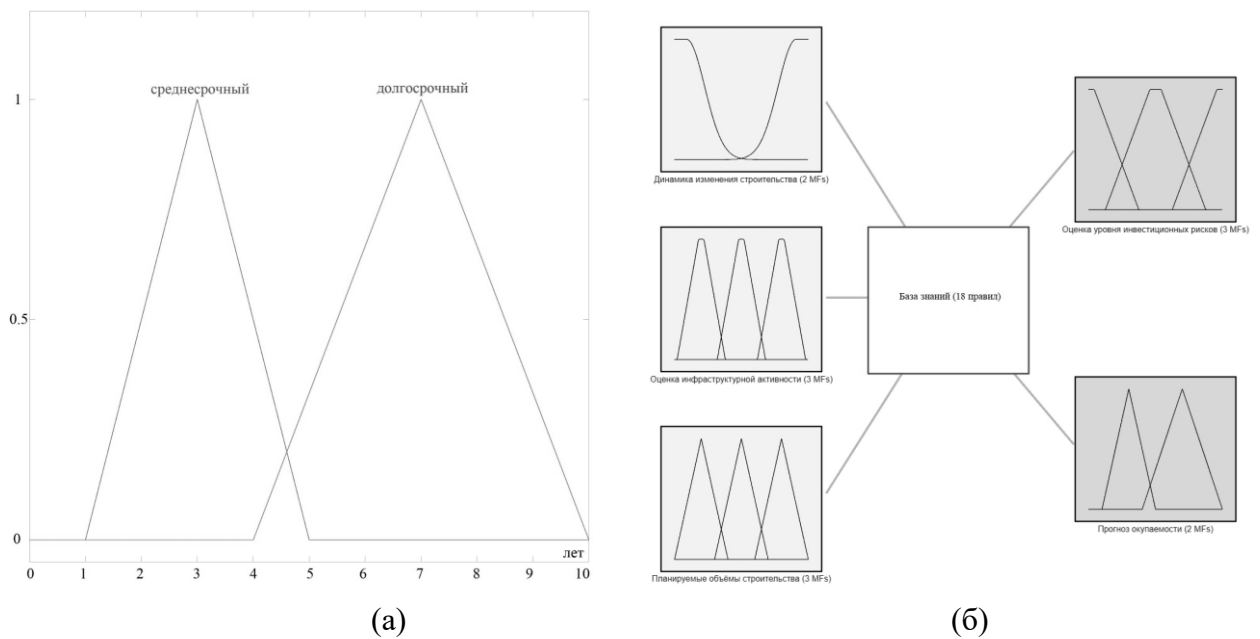


Рис. X.41. Графики функций принадлежности переменной «прогноз окупаемости», лет (а); структурная схема экспертной системы оценки инвестиционных рисков строительства жилых зданий на основе информации о развитии действующей инфраструктуры, полученной на основе данных ДЗЗ (б)

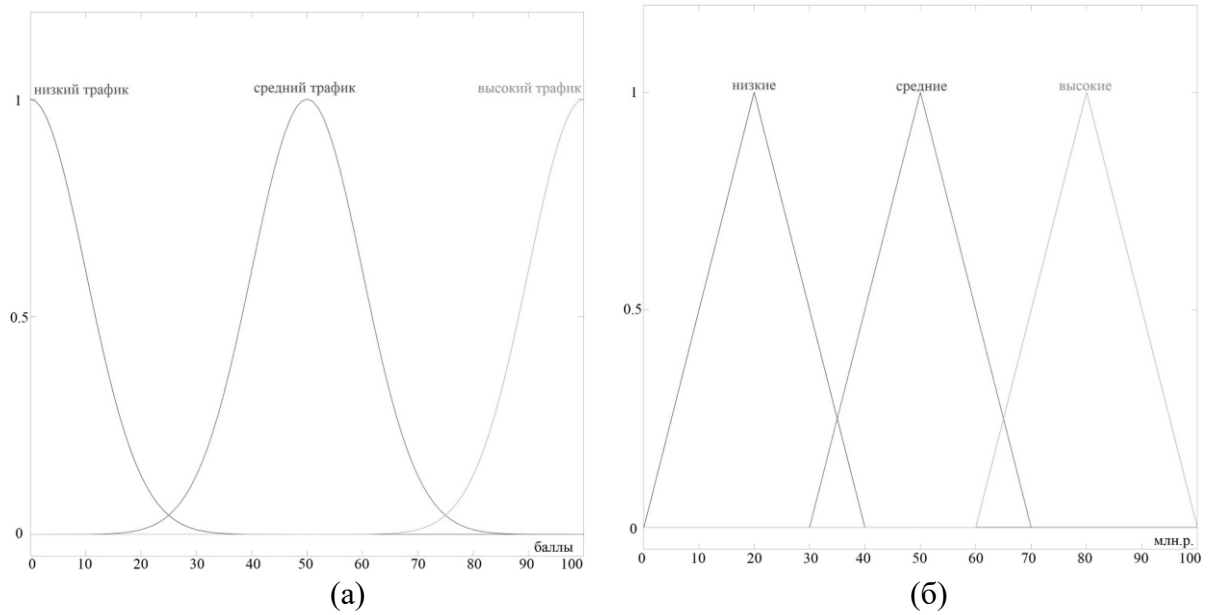


Рис. X.42. Графики функций принадлежности переменной «оценка интенсивности использования дорог», баллы (а); «объем инвестиций», млн.р. (б)

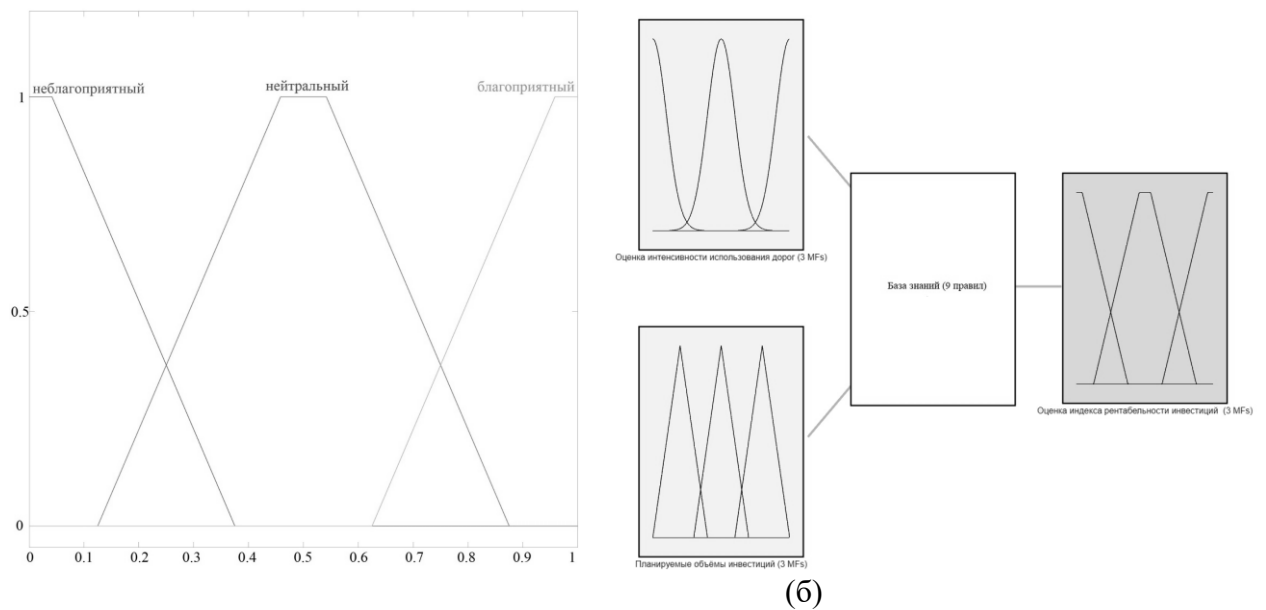
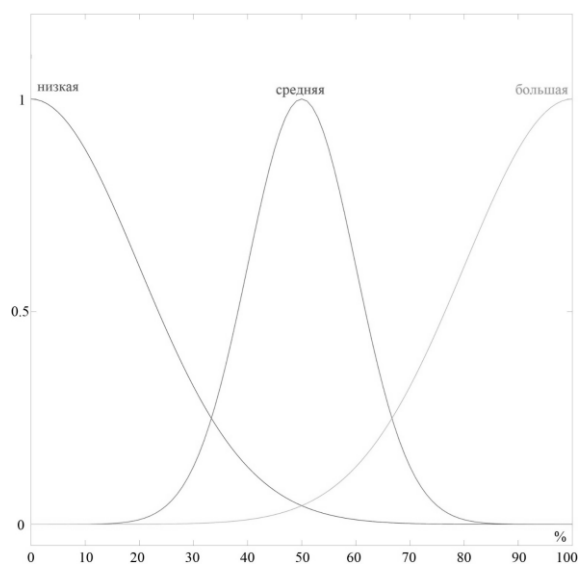
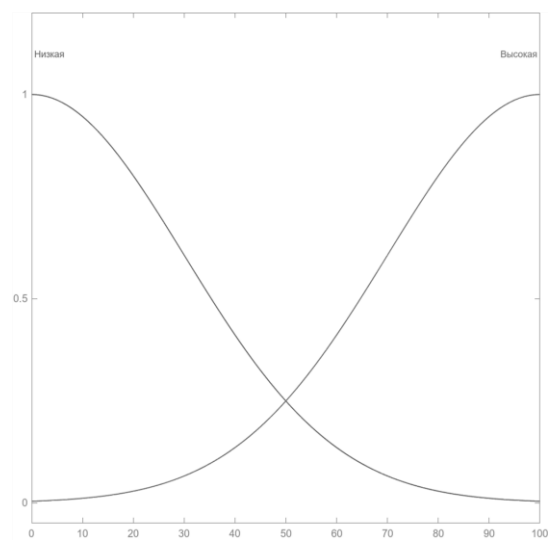


Рис. X.43. Графики функций принадлежности переменной «индекс рентабельности», безразмерная величина (а); структурная схема экспертной системы оценки рентабельности инвестиций в строительство объектов жилой застройки рядом с дорожно-транспортной инфраструктурой (б)

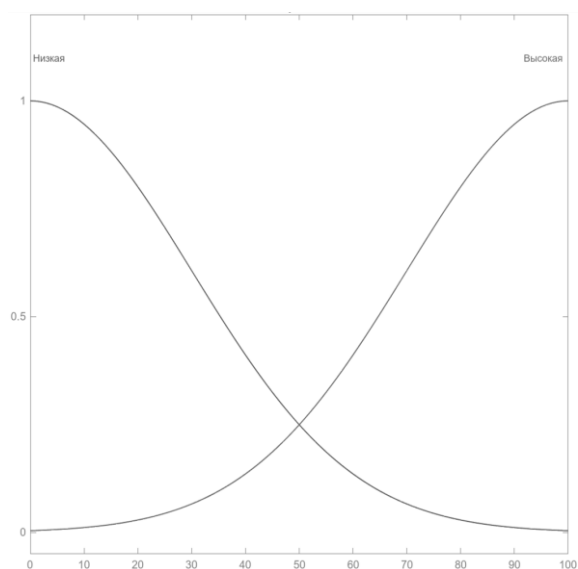


(а)

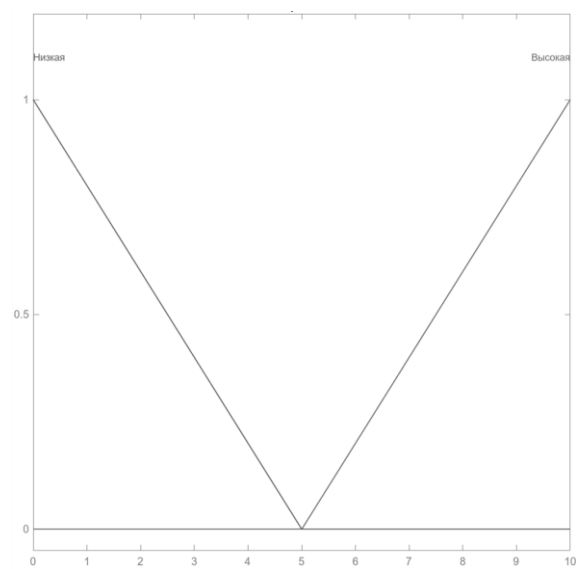


(б)

Рис. Х.44. графики функций принадлежности переменной «относительная площадь болот и торфяников», проценты (а); «интенсивность пожаров», баллы (б)



(а)



(б)

Рис. Х.45. Графики функций принадлежности переменной «подтопляем ость территорий», баллы (а); «сейсмическая активность», баллы по шкале Рихтера (б)

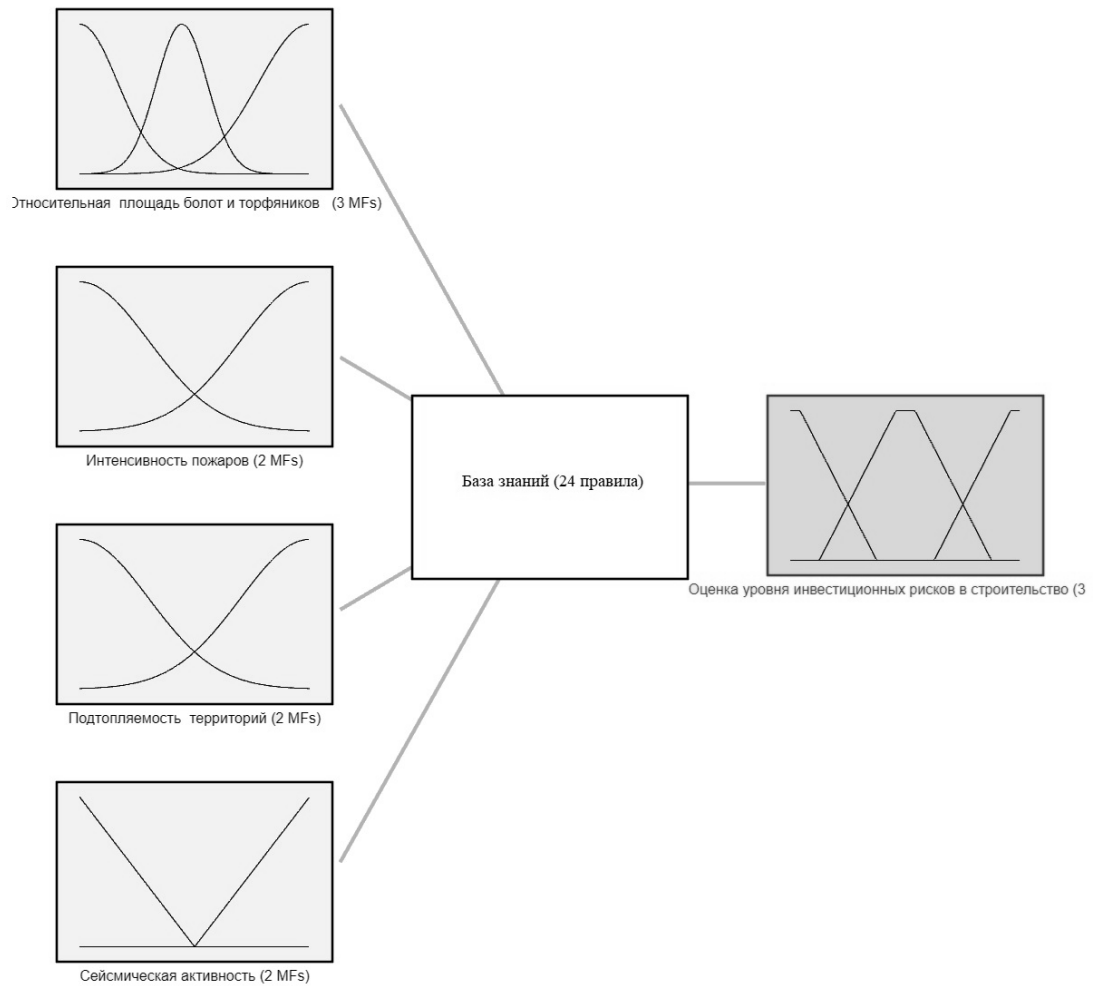


Рис. X.46. Структурная схема экспертной системы для оценки инвестиционных рисков при строительстве объектов жилой застройки на основе данных по климатическим и геофизическим факторам, полученным в результате многолетнего мониторинга ДЗЗ (регионы: Сибирь, Дальний восток, Арктика)

**ПРИЛОЖЕНИЕ XI. ФРАГМЕНТЫ ИСХОДНОГО КОДА БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ЯЗЫКЕ
PYTHON**

```
import numpy as np
import pylab as pl
import skfuzzy as fuzz
from skfuzzy import control as ctrl

'блокированные жилые дома, для кварталов'

kz_range=np.arange(33, 50, 0.01)
pz_range=np.arange(4780,9870, 1)
e_range =np.arange(0, 4, 0.01)

kz = ctrl.Antecedent(kz_range, 'kz')
pz = ctrl.Antecedent(pz_range, 'pz')
e = ctrl.Consequent(e_range, 'e') # Auto-membership #kz.automf(3, names = ['1', '2','3'])

kz['1'] = fuzz.gaussmf(kz_range, 33, 1.3)
kz['2'] = fuzz.gaussmf(kz_range, 38.5, 3.5)
kz['3'] = fuzz.gaussmf(kz_range, 47.8, 6)

pz['1'] = fuzz.gaussmf(pz_range, 4780, 1237)
pz['2'] = fuzz.gaussmf(pz_range, 7780,1395)
pz['3'] = fuzz.gaussmf(pz_range, 9870, 1318)

e['1'] = fuzz.gaussmf(e_range, 1, 0.5)
e['2'] = fuzz.gaussmf(e_range, 2, 0.5)
e['3'] = fuzz.gaussmf(e_range, 3, 0.5)

#kz.view()
#pz.view()
#e.view()
#pl.show()
# Create fuzzy inference system
```

```
fuzzy_system = ctrl.ControlSystem([
ctrl.Rule(kz['1'] & pz['3'], e['3']),
ctrl.Rule(kz['2'] & pz['2'], e['2']),
ctrl.Rule(kz['3'] & pz['1'], e['1']),
])
fuzzy_simulation = ctrl.ControlSystemSimulation(fuzzy_system)
```

```
if __name__ == '__main__':
    # Set input values
    fuzzy_simulation.input['kz'] = 50
    fuzzy_simulation.input['pz'] = 7000

    fuzzy_simulation.compute()
    out = fuzzy_simulation.output['e']
    print(out)
    outs=[]
    for i in kz_range:
        fuzzy_simulation.input['pz'] = 0
        fuzzy_simulation.input['kz'] = i
        fuzzy_simulation.compute()
        outs.append(fuzzy_simulation.output['e'])
    pl.plot(kz_range,outs)
    pl.show()
    outs=[]
    for i in pz_range:
        fuzzy_simulation.input['kz'] = 0
        fuzzy_simulation.input['pz'] = i
        fuzzy_simulation.compute()
        outs.append(fuzzy_simulation.output['e'])
    pl.plot(pz_range,outs)
    pl.show()
```

```
import numpy as np
import pylab as pl
import skfuzzy as fuzz
```

```

from skfuzzy import control as ctrl

'Лифты'

et_range = np.arange(4,25,1)
og_range = np.arange(630,2060, 1)
sk_range = np.arange(100, 200, 1)
nppl_range = np.arange(350, 800, 1)
l_range = np.arange(0, 5, 0.01)
et = ctrl.Antecedent(et_range, 'et')
og = ctrl.Antecedent(og_range, 'og')
sk = ctrl.Antecedent(sk_range, 'sk')
nppl = ctrl.Antecedent(nppl_range, 'nppl')
l = ctrl.Consequent(l_range, 'l') # Auto-membership #kz.automf(3, names = ['1', '2','3'])
et['1'] = fuzz.gaussmf(et_range, 4, 3)
et['2'] = fuzz.gaussmf(et_range, 6.5, 3)
et['3'] = fuzz.gaussmf(et_range, 9, 5)
et['4'] = fuzz.gaussmf(et_range, 13, 7)
et['5'] = fuzz.gaussmf(et_range, 18.5,7)
et['6'] = fuzz.gaussmf(et_range, 25, 10)
og['1'] = fuzz.gaussmf(og_range, 630, 200)
og['2'] = fuzz.gaussmf(og_range, 1030, 200)
og['3'] = fuzz.gaussmf(og_range, 1660, 200)
og['4'] = fuzz.gaussmf(og_range, 2060, 200)
sk['1'] = fuzz.gaussmf(sk_range, 100, 25)
sk['2'] = fuzz.gaussmf(sk_range, 200, 50)
nppl['1'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 350, 30)
nppl['2'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 400, 30)
nppl['3'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 450, 30)
nppl['4'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 500, 30)
nppl['5'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 550, 50)
nppl['6'] = fuzz.gaussmf(nppl_range, 800, 100)
l['1'] = fuzz.gaussmf(l_range, 1, 0.3)
l['2'] = fuzz.gaussmf(l_range, 2, 0.3)
l['3'] = fuzz.gaussmf(l_range, 3, 0.3)
l['4'] = fuzz.gaussmf(l_range, 4, 0.3)

```

```

#et.view()
#og.view()
#sk.view()
#nppl.view()
#l.view()
#pl.show()

# Create fuzzy inference system
fuzzy_system = ctrl.ControlSystem([
ctrl.Rule(et['1'] & og['1'] & sk['1'] & nppl['6'] , l['1']),
ctrl.Rule(et['2'] & og['1'] & sk['1'] & nppl['5'] , l['1']),
ctrl.Rule(et['3'] & og['1'] & sk['1'] & nppl['4'] , l['1']),
ctrl.Rule(et['4'] & og['2'] & sk['1'] & nppl['3'] , l['2']),
ctrl.Rule(et['5'] & og['2'] & sk['2'] & nppl['2'] , l['2']),
ctrl.Rule(et['6'] & og['3'] & sk['2'] & nppl['1'] , l['4']),
ctrl.Rule(et['6'] & og['4'] & sk['2'] & nppl['2'] , l['4']),
])
fuzzy_simulation = ctrl.ControlSystemSimulation(fuzzy_system)
if __name__ == '__main__':
    outs=[]
    for i in et_range:
        fuzzy_simulation.input['og'] = 0
        fuzzy_simulation.input['sk'] = 0
        fuzzy_simulation.input['nppl'] = 0
        fuzzy_simulation.input['et'] = i
        fuzzy_simulation.compute()
        outs.append(fuzzy_simulation.output['l'])
    pl.plot(et_range,outs)
    pl.show()
    outs=[]
    for i in og_range:
        fuzzy_simulation.input['og'] = i
        fuzzy_simulation.input['sk'] = 0
        fuzzy_simulation.input['nppl'] = 0
        fuzzy_simulation.input['et'] = 0

```

```
fuzzy_simulation.compute()  
outs.append(fuzzy_simulation.output['I'])  
pl.plot(og_range,outs)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ XII. ФРАГМЕНТЫ ИСХОДНОГО КОДА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭС

```

import PySimpleGUI as sg
font = ("Terminus", 9); sg.set_options(font=font)

name_invest = 'инвестиционная привлекательность'
name_tech = 'износ конструкций'
name_prognoz1 = 'коэффициент прибыльности'
name_prognoz2 = 'срок выхода на сверхприбыль'
= 'вероятность прогноза'

[sg.Frame("ЭС ИНВЕСТИЦИОННАЯ ОЦЕНКА ЗДАНИЙ (с учетом данных компании
«АСК»)",size= (600,400), layout=[

    [sg.Text('количество квартир в доме'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal',

    [sg.Text('количество квартир на этаже'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal',

    [sg.Text('средняя площадь комнаты, м2'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal',

[sg.Text('средняя площадь кухни, м2'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal', key='sku',
range=(8,20))],
    [sg.Text('высота потолков, см'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal',
key='vp', range=(250,350))],
    [sg.Button('рассчёт инвестиционной привлекательности объекта', enable_events=True,
key='-INVEST-')],
    [sg.Text(name_invest+' :.', key='-text-invest' )],

[
s [sg.Frame("ЭС ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОГНОЗ и ОЦЕНКА РИСКОВ (ИПОР)",size=
g
[sg.Text('бюджет проекта, млн.р'),

        sg.Slider(orientation ='horizontal', key='budget',
range=(5,500))],
e
x
t

```

```

[sg.Text('доля капитала в данном проекте, %'), sg.Slider(orientation='horizontal',
key='dolya', range=(1, 100))],
[sg.Text('расходы на данный проект, млн.р'), sg.Slider(orientation='horizontal',
key='rashody', range=(5,100))],
[sg.Text('уровень инфляции, %'), sg.Slider(orientation='horizontal',
key='inflation',range=(1,20))],
[sg.Button('инвестиционный прогноз', enable_events=True, key='-IPROGNOZ-')],
[sg.Text(name_prognoz2+' :', key='-text-prognoz2' )],
[sg.Text(name_prognoz1+' :', key='-text-prognoz1' )],
[sg.Text(name_prognoz3+' :', key='-text-prognoz3' )],

```

```

[sg.Frame("ЭС ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЯ (на основании ГОСТ 31937-

```

```

[sg.Text('дефекты в каменной кладке несущих стен, колонн, см'), sg.Slider(orientation
ширина раскрытия трещин в наружных стенах, мм'), sg.Slider(orientation='horizontal', key='sr',
[sg.Text('сдвиги и трещины в перекрытиях, мм'), sg.Slider(orientation='horizontal',
[sg.Button('расчёт износа конструкций',enable_events=True, key='-TECH-')],
[sg.Text(name_tech+' :', key='-text-tech-' )],

```

```

window = sg.Window('Экспертная система ПрогрессСтройЭксперт - ОЦЕНКА', layout,

```

```

[
def update_iprognoz():
g budget = values['budget']
. inflation = values['inflation']
T rashody = values['rashody']
e dolya = values['dolya']
x
t import baza_invest2 as bz
( bz.fuzzy_simulation.input['budget'] = budget
,
д
е

```

```

bz.fuzzy_simulation.input['inflation'] = inflation
bz.fuzzy_simulation.input['rashody'] = rashody
bz.fuzzy_simulation.input['dolya'] = dolya
bz.fuzzy_simulation.compute()
x = bz.fuzzy_simulation.output['x']
veroyat = bz.fuzzy_simulation.output['veroyat']
srok_okup = bz.fuzzy_simulation.output['srok_okup']

```

```

import baza_invest2_add as bz
bz.fuzzy_simulation.input['dolya'] = dolya
bz.fuzzy_simulation.compute()
v2 = bz.fuzzy_simulation.output['v']

x='x '+ str(int(round(x,3)))
veroyat=str(int(round(veroyat,3))) + ' % ' + '('+ str(int(round(v2,3)))+ ' %).'
srok_okup=str(int(round(srok_okup,3))) + ' mec.'
window['-text-prognoz1'].update(name_prognoz1+ " : {}".format(x))
window['-text-prognoz2'].update(name_prognoz2+ " : {}".format(srok_okup))
window['-text-prognoz3'].update(name_prognoz3+ " : {}".format(veroyat))

```

```
def update_tech():
```

```

    dk = values['dk']
    dz = values['dz']
    sr = values['sr']
    st = values['st']

```

```

import baza_tech as bz
bz.fuzzy_simulation.input['dk'] = dk
bz.fuzzy_simulation.input['dz'] = dz
bz.fuzzy_simulation.input['sr'] = sr
bz.fuzzy_simulation.input['st'] = st
bz.fuzzy_simulation.compute()
ts = bz.fuzzy_simulation.output['ts']
ts=str(int(round(ts,3))) + ' %.'
window['-text-tech-'].update(name_tech+ " : {}".format(ts))

```

```

def update_invest():
    kkd =values['kkd']
    kke =values['kke']
    skv =values['skv']
    sko =values['sko']
    sku =values['sku']
    vp =values['vp']
    import baza_invest as bz
    bz.fuzzy_simulation.input['kkd'] = kkd
    bz.fuzzy_simulation.input['kke'] = kke
    bz.fuzzy_simulation.input['skv'] = skv
    bz.fuzzy_simulation.input['sko'] = sko
    bz.fuzzy_simulation.input['sku'] = sku
    bz.fuzzy_simulation.input['vp'] = vp
    bz.fuzzy_simulation.compute()
    inv = bz.fuzzy_simulation.output['i']
    inv=str(int(round(inv,5))) + ' млн. р'
    window['-text-invest'].update(name_invest+ " : {}".format(inv))

while True:
    event, values = window.read()
    if event in (sg.WIN_CLOSED, 'Exit'): break
    if event == '-INVEST-': update_invest()
    if event == '-TECH-': update_tech()
    if event == '-IPROGNOZ-': update_iprognoz()

window.close()

```