

Экономическая оценка применения экспертно-аналитических систем для проектирования многоквартирных жилых домов

А.А. Меркулов, О.А. Салтыкова, Ю.Н. Разумный

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва

Аннотация: Разработана система экспертно-аналитических методов поддержки принятия решений на этапе проектирования многоквартирных жилых домов. Цель исследования – экономическая оценка разработанных методов на стадии проектирования объектов строительства. В качестве математической базы информационно-экспертной системы поддержки принятия решений использован аппарат нечёткой логики. Метод оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов обеспечивает поддержку принятия решений, исходя из средней площади квартиры и количества квартир на этаже. Метод оценки привлекательности строительства жилого многоэтажного здания учитывает класс жилья, высоту и площадь здания. Приведено экономическое обоснование применения экспертных систем и показано, что расчет коэффициента привлекательности строительства позволяет повысить прибыль строительной организации в пределах 30% за счет применения эмпирических знаний и специализированных инженерно-технических.

Ключевые слова: информационно-экспертная система, проектирование, многоквартирный жилой дом, экономическая оценка, инвестиционная привлекательность, нечеткая логика.

Введение

Строительная индустрия в течение долгого времени характеризовалась сохранением разнообразных процессов, сопротивлением изменениям, а также ограниченным использованием передовых информационных технологий по сравнению, например, с обрабатывающей промышленностью. В настоящее время Российская Федерация интенсивно модернизирует строительную отрасль для повышения её эффективности и конкурентоспособности. Правительство поддерживает развитие жилищного строительства через программы льготной ипотеки, что способствует увеличению объёмов строительства и созданию новых рабочих мест. По данным Росстата, объем 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, средняя сметная стоимость строительства многоквартирных домов составила 49,5 тыс. рублей (Нормативная стоимость одного квадратного метра в многоквартирном жилом доме устанавливается в соответствии с Приказом Минстроя России от 19.06.2023 № 422).

В наши дни строительный сектор интенсивно обновляет методологии и внедряет инструментарий на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). Так, в работе [1] автор опирается на системы управления качеством и их внедрение в проектных организациях. Применение экспертных систем для решения строительных задач описано в [2 - 4]. Использование математического аппарата нечеткой логики для оценки технического состояния строительных конструкций показано в [5]. Интеллектуальные системы для решения инженерных задач строительной отрасли описаны в [6, 7]. Развиваются цифровые сервисы проектирования участков и строительных объектов, информационные системы жилищного строительства для получения данных о застройщиках и объектах строительства, технологии информационного моделирования зданий.

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 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 10 лет специальные программные средства для проектирования, вырос с 11,9 до 12,0. Согласно этим сведениям 56% специалистов строительной отрасли готовы к переходу на российское ПО.

Методология экспертно-аналитических систем при проектировании многоквартирных жилых домов и решаемые инженерные задачи

Экспертные системы (ЭС) являются направлением и инструментом ИИ и могут применяться как системы поддержки принятия решений [8, 9]. В частности, их используют при автоматизации процессов, анализе ситуации и предоставлении рекомендаций для решения узкопрофильных инженерных задач в строительстве [10 – 12].

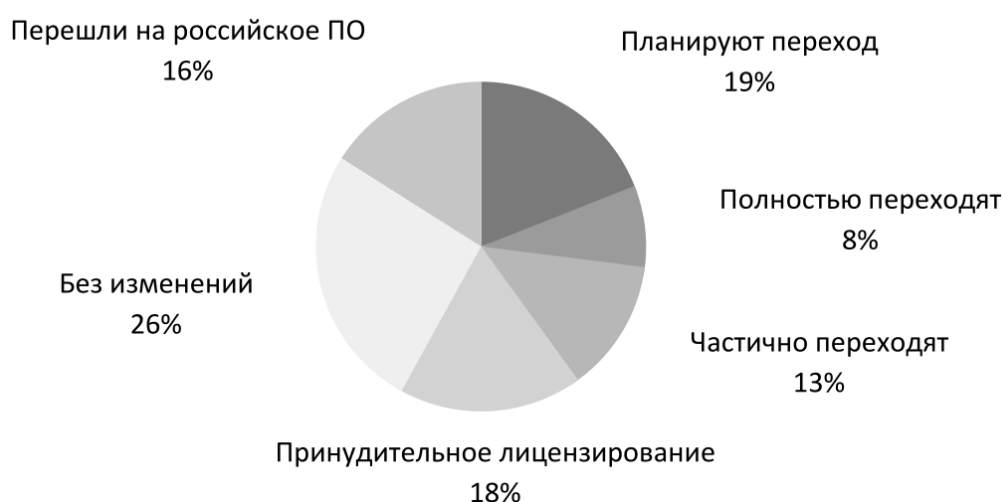


Рис. 1. – Компании-застройщики, внедряющие технологии информационного моделирования на базе российского ПО

Использование нечёткой логики в экспертных системах позволяет моделировать разнообразные сценарии, что способствует повышению эффективности и точности принимаемых решений. ЭС, созданные на основе нечёткой логики, оперируют лингвистическими переменными, каждая из которых задается функциями принадлежности [13 – 15]. Подходы к применению алгоритмов нечеткой логики можно найти в работах [16 - 18]. Нечеткий алгоритм Mamdani [19, 20] обладает высокой степенью интерпретируемости. Благодаря использованию теории нечётких множеств для формализации базы знаний этот алгоритм обладает устойчивостью к

шумам по аналогии с нейронными сетями. В этой связи важны организация сбора и формализация экспертных знаний для разработки специализированных экспертных систем, содержащих актуальные для строительной отрасли сведения [21 – 23].

К значимым экономическим факторам применения экспертных систем в строительстве можно отнести гарантию исключения предусмотренных в ЭС организационных, технических и финансовых ошибок, чреватых убытками, размер которых можно сопоставить с объёмом финансирования самого строительства (100% инвестиций и более при неблагоприятном исходе).

При возведении зданий основными документами являются проект плана застройки площадки и рабочие чертежи строящегося дома. Чтобы посадить здание на заданной местности, в плане застройки даётся привязка его осей к ориентирам. Соответствующие параметры целесообразно вводить в ЭС для решения задачи по оптимизации посадки зданий. Идею, полученную из ЭС, удобно использовать для развития архитектурного проекта и принятия решений по посадке здания на местности. Входные данные должны учитывать параметры приобретаемого под застройку земельного участка, градостроительные характеристики (установленные в генплане города, правилах землепользования и застройки), проектные нормы инсоляции, отступ от имеющихся поблизости строений, продуктовые характеристики (высоту этажа, количество квартир на этаже, среднюю площадь квартир и т. д.).

Известны общие рекомендации по поводу того, как правильно разместить дом на строительной площадке. Наиболее важными являются правила соблюдения так называемых красных линий, определяющих минимальное расстояние от дома до улицы и проездов в соответствии с местными нормами и правилами (СНиП и СанПиН). Расстояние между

домом и соседними участками, а также высокими и средней высоты деревьями должно соответствовать санитарным нормам. 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. Также необходимо учитывать рельеф и уклон участка.

Расчёт количества лифтов является одной из актуальных практических задач на этапе проектирования и строительства. Количество лифтов должно соответствовать потребностям и возможностям эксплуатации здания, а также учитывать особенности местности и климатические условия. Применение экспертной системы для расчёта параметров лифтового оборудования позволяет оптимизировать эксплуатацию пространства здания, уменьшить затраты на обслуживание и ремонт лифтов, повысить безопасность и комфортность использования многоквартирного жилого дома. Система расчёта позволяет подобрать оптимальное количество лифтов на максимально ранней стадии проектирования – когда создаётся архитектурная концепция. Количество лифтов может варьироваться в зависимости от размера здания, его назначения, высоты этажей, доступности дома для людей с ограниченными двигательными возможностями. Для жилых зданий обычно используются лифты грузоподъемностью 500–1000 кг, для офисных зданий – 300–600 кг (Параметры могут быть различными в зависимости от конкретной модели лифта и его производителя).

Еще одной актуальной задачей является грамотное управление рисками в строительстве. Приоритеты такого управления могут быть выявлены на основе комбинации вероятности наступления риска и его потенциальных последствий. Для оценки каждого фактора целесообразно использовать числовые значения – проценты или денежные суммы (более высокая сумма соответствует более значительному воздействию). Нечеткая экспертная

система, основанная на правилах, может быть привязана к заданным на выходе числовым значениям для оценки инвестиционной привлекательности и объёмов инвестиций.

Как показывает практика, для минимизации рисков и получения максимальной прибыли применение метода экспертных систем актуально именно на ранней стадии проектирования строительства. Кроме того, данный метод позволяет учитывать суперпозицию многих факторов, которые не всегда являются очевидными.

Разработка экспертной системы оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов

На этапе принятия проектных решений при планировании строительства и оценке затрат расчет инвестиционной привлекательности жилых комплексов является актуальной задачей, успешное решение которой позволяет принимать обоснованные с экспертной точки зрения решения, что актуально для инвестиционных компаний и организаций, занятых в строительной отрасли.

Экспертная система оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов разработана на основе опроса профильных экспертов, критериев классификации типов новостроек (эконом, комфорт, бизнес, премиум) и принимает на вход следующие параметры: количество квартир в доме, количество квартир на этаже, среднюю площадь квартиры, среднюю площадь комнаты, среднюю площадь кухни, высоту потолков. Модель рассчитывает значение инвестиционной привлекательности в миллионах рублей. На рис. 2 приведена структурная схема нечеткой экспертной системы оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов с шестью входами и одним выходом.

На рис. 3 изображены функции принадлежности выходной лингвистической переменной «инвестиционная привлекательность».

Поверхность отклика содержит такие переменные, как: средняя площадь комнаты, количество квартир на этаже, инвестиционная привлекательность.

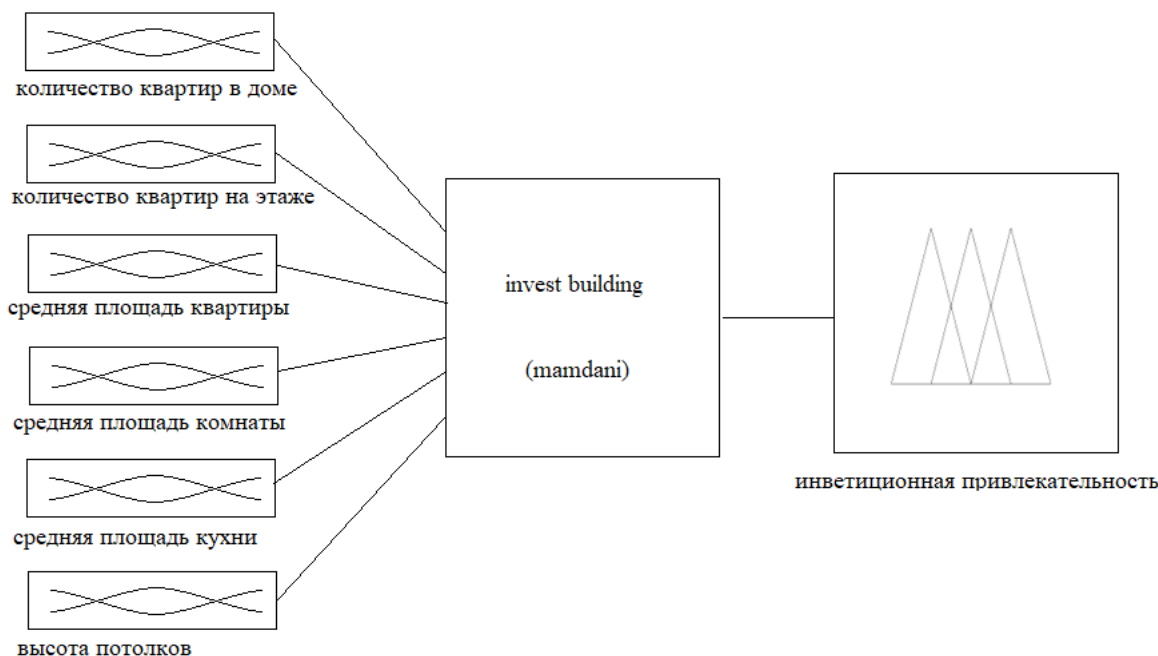


Рис. 2. – Структурная схема нечеткой экспертной системы с шестью входами и одним выходом для оценки инвестиционной привлекательности жилых комплексов

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.

Разработка индекса привлекательности строительства жилого многоквартирного здания в зависимости от его высоты и площади

На основе эмпирического опыта действующей проектной организации была построена таблица, каждая строка которой содержит пример

строительного объекта со своим классом жилья, этажностью, а также с отношением продаваемой площади квартир к общей площади и отношением продаваемой площади квартир к общей суммарной поэтажной площади. Из таблицы следует, что если площадь квартир жилого здания высотой более 48 этажей не превышает 550 квадратных метров на этаже, то коэффициент отношения продаваемой площади всех квартир к общей (строительной) площади здания составляет $k \sim 0,5$. Таким образом, для продажи 100 квадратных метров необходимо построить 200 квадратных метров здания, при этом его себестоимость значительно возрастает. Также из 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).

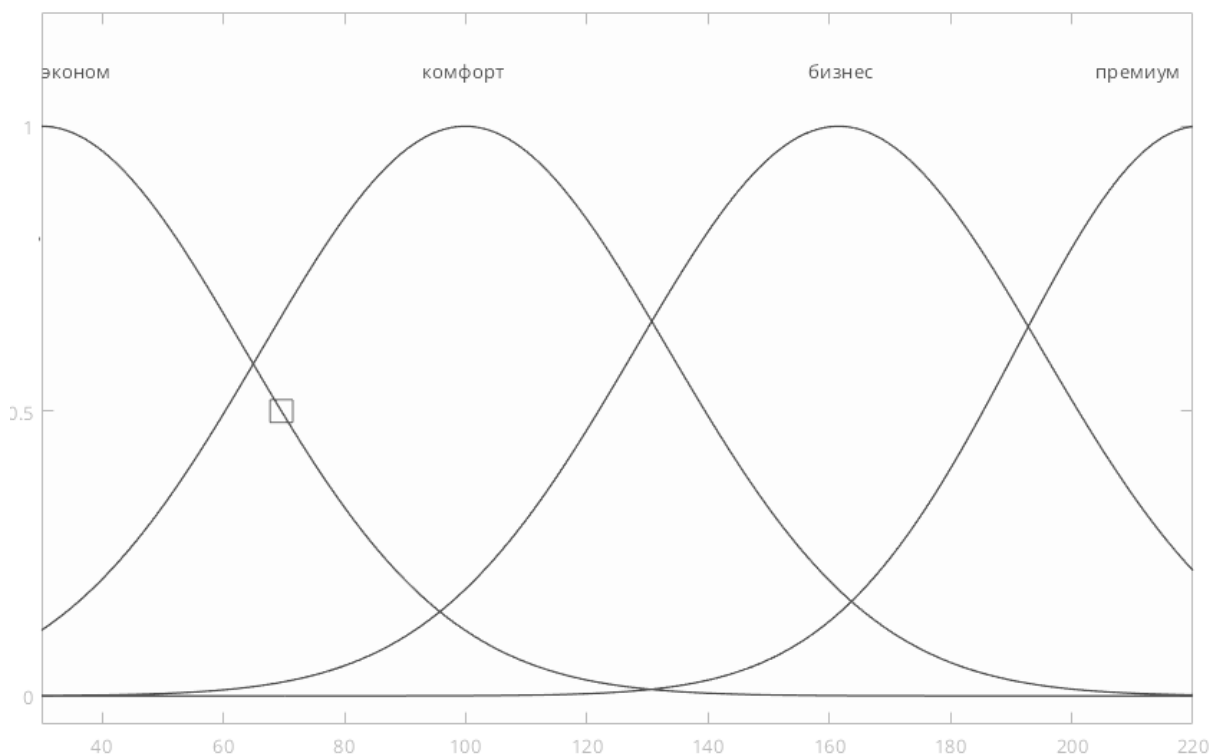


Рис. 3. – Функции принадлежности выходной лингвистической переменной «инвестиционная привлекательность», млн рублей

Исходя из этих рассуждений, предлагается ввести индекс привлекательности строительства, рассчитанный на основе входных характеристик – высоты и площади здания: чем ниже этот коэффициент, тем ниже рентабельность. Если коэффициент равен 0,6, то из 100 квадратных метров будут проданы только 60 квадратных метров. 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).

Например, у небоскребов появляются дополнительные лифты, лестницы для эвакуации, дополнительные технические помещения и технические этажи, потому что инженерные системы должны обслуживать несколько зон по высоте. Естественно, все дополнительные инженерные решения требуют определенной площади. Для небоскребов такой коэффициент является наиболее низким, поскольку, чем выше этажность здания, тем данный коэффициент ниже. В то же время, чем выше уровень класса небоскребов, тем данный коэффициент меньше. Для эконом-небоскребов можно не делать центральное кондиционирование, в то время как жилье класса премиум и бизнес в небоскребе предусматривает его наличие, а значит, здесь следует разместить соответствующее оборудование, что снижает индекс привлекательности строительства.

Количественные взаимосвязи между лингвистическими переменными носят нелинейный характер, который связан с формой кривых, задающих функции принадлежности лингвистических переменных. Эти формы были подобраны так, чтобы итоговые кривые поверхности отклика отражали экспертные знания. Пример нечеткого логического вывода приведен на рис. 4. Функция поверхности отклика показана на рис. 5.

В разработанной экспертной системе входными переменными являются высота здания (от 15 метров) и площадь здания (до 550 квадратных метров и более 550 квадратных метров).

Выходной параметр – себестоимость строительства за метр квадратный жилья. С позиции экономики в экспертной системе можно ввести коэффициент удорожания без привязки к конкретной расчетной стоимости.

Таблица № 1.

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

Этажность, число этажей	Класс жилья	Отношение продаваемой площади квартир к общей площади	Отношение продаваемой площади квартир к общей суммарной поэтажной площади
4–12	Комфорт	0,85	0,77
4–12	Бизнес	0,80	0,72
4–12	Премиум	0,75	0,68
13–25	Комфорт	0,80	0,72
13–25	Бизнес	0,75	0,68
13–25	Премиум	0,70	0,63
26–47	Комфорт	0,75	0,68
26–47	Бизнес	0,70	0,63
26–47	Премиум	0,65	0,59
> 48	Комфорт	0,75	0,68

> 48	Бизнес	0,70	0,63
> 48	Премиум	0,65	0,59

База знаний:

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

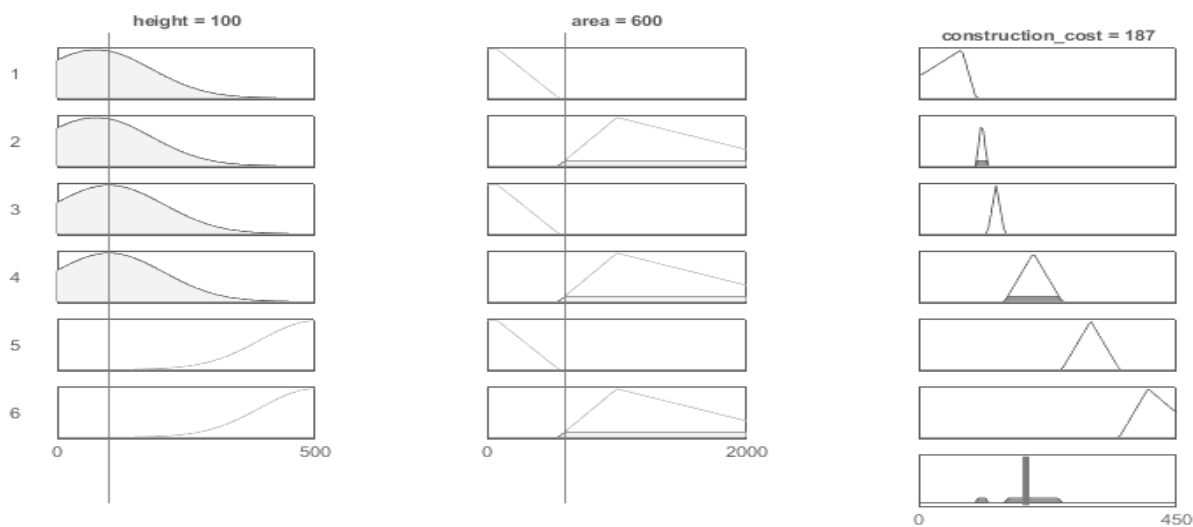


Рис. 4. – Пример нечеткого логического вывода по алгоритму Mamdani [19] с расчетом привлекательности строительства жилого многоэтажного здания в зависимости от его высоты и площади

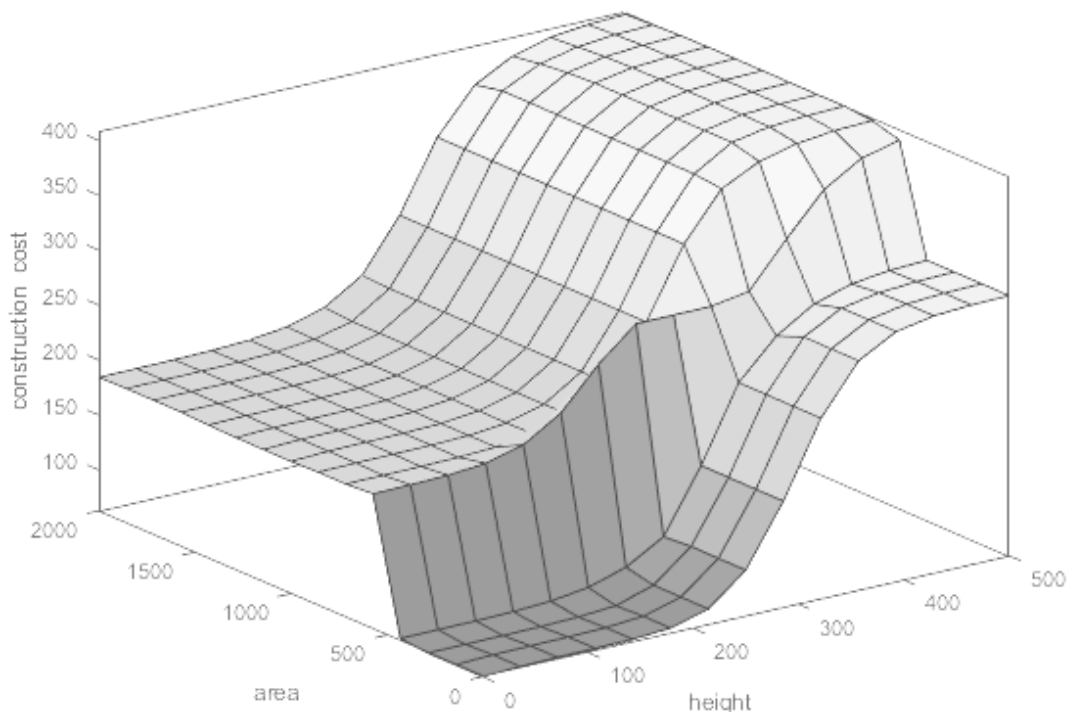


Рис. 5. – Функция поверхности отклика
По осям: высота, м; площадь, кв. м; себестоимость строительства, млн рублей

Листинг программы

[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]

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1

1 2, 2 (1) : 1

2 1, 3 (1) : 1

2 2, 4 (1) : 1

3 1, 5 (1) : 1

3 2, 6 (1) : 1

Следует отметить, что метод экспертных систем позволяет учесть совокупность факторов, которые напрямую или косвенно влияют на стоимость жилья того или иного класса. Существуют факторы, которые повышают стоимость, требуя дополнительных вложений со стороны

инвестора, что ведет к увеличению не только затратной части строительства, но и прибыли. Важно иметь алгоритм баланса 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 удаленность до них.

Преимущество применения экспертных знаний в управленческих решениях можно проследить на примере жилого комплекса в Истринском районе Московской области. Застройщик планировал небольшую застройку в излучине реки Истра, осваивал участок и планировал возведение жилого квартала, состоящего из пятиэтажных домов с мансардами. В округе были конкуренты, которые старались брать количеством эконом-жилья, их стратегия состояла в том, чтобы застроить территорию плотнее, с невысокой себестоимостью и, соответственно, с небольшой прибылью.

В процессе освоения территории с учетом понесенных затрат на приобретение земли, проектирование, изыскания и прочее застройщик полностью пересмотрел свой продукт и сделал дополнительные инвестиции в ландшафтное проектирование, создав очень интересную сложную территорию с геопластикой (искусственными холмами). Современное благоустройство сначала спроектировали, а потом реализовали, чем существенно подняли класс жилья, а стоимость квадратного метра увеличили в два раза по сравнению с изначально запланированным.

В итоге был получен невероятный ажиотаж по поводу продаж готового жилья. Таким образом, учет дополнительных факторов с относительно небольшими дополнительными вложениями повысил инвестиционную привлекательность продукта и принес значительную прибыль застройщику, который, повысив себестоимость строительства, существенно выиграл за счет увеличения стоимости квадратного метра возведенных зданий.

Выводы. Несмотря на то, что при принятии решений экспертные системы не всегда способны полностью заменить экспертов, обладающих уникальным опытом и эмпирическими знаниями в определённой области, их применение в строительстве интенсивно развивается. При этом экспертные системы, созданные на основе нечеткой логики, можно использовать как компьютерную альтернативу консультационных услуг при передаче знаний. В рамках проведенного исследования изучены подходы к применению нечёткой логики в области управления затратами и расходами в строительстве, включая оптимизацию затрат на проекты и управление инвестиционными рисками.

В частности, метод экспертных систем может быть использован на этапе инвестиционной оценки потенциального земельного участка для застройщика и оценки технико-экономических показателей будущего жилого комплекса. Кроме того, применение экспертной системы целесообразно для оптимизации процесса инвестиционного проектирования и оценки земельных участков с повышением эффективности инвестирования и строительства жилых комплексов. В общем случае оценка инвестиционной привлекательности объектов должна учитывать показатели финансового рынка, включая курс валют, ставку Центробанка и пр. На этапе оценки земельного участка под строительство жилого комплекса застройщик также может использовать системы оценки технико-экономического потенциала и финансового моделирования.

На примере разработанного индекса привлекательности строительства показано, что применение специализированной экспертной системы позволяет проектировать выгодные для застройщика строительные объекты и максимально привлекательное для последующего приобретения жильё. Так, при повышении коэффициента привлекательности от 0,5 до 0,7 чистая

прибыль от продажи увеличивается до 30% только за счёт применения рациональных организационно-технических решений.

Литература

1. Скопинова Ю.С. Строительные дефекты в результате ошибочного проектирования. Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. Т. 1. № 3. С. 33–37.
2. Серенков П.С., Гуревич В.Л., Романчик В.М., Янушкевич А.В. Экспертная система оценки рисков стандартизации в области строительства, перспективы практической реализации. Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве. 2012. № 4. С. 34–37.
3. 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.
4. 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.
5. Тонков Ю.Л. Математические модели для идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечеткой логики: Дис. канд. технич. наук. – Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2018. 208 с.

6. Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л., Тонков И.Л. Интеллектуальная автоматизация инженерного обследования строительных объектов. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Т. 13. № 3. С. 42–57.

7. 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.

8. Султанова Е.А., Фазлетдинова З.И. Экспертная система оценки состояния городского жилого фонда. *Информационные технологии. Проблемы и решения: Материалы Международной научно-практической конференции. –Уфимский государственный нефтяной технический университет*. 2018. № 1. С. 430–433.

9. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. 4-е изд. М. Издательский дом «Вильямс». 2007. 1152 с.

10. 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.

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

12. 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.

13. 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.

14. Jain A., Sharma A. Membership function formulation methods for fuzzy logic systems: A comprehensive review. Journal of Critical Reviews. 2020. V. 7. № 19. pp. 8717–8733.

15. Marani A., Nehdi M.L. Machine learning prediction of compressive strength for phase change materials integrated cementitious composites. Construction and Building Materials. 2020. V. 265. P. 120286.

16. Li Y.W., Cao K. Establishment and application of intelligent city building information model based on BP neural network model. Computer Communications. 2020. V. 153. pp. 382–389.

17. Айдинян А.Р., Цветкова О.Л. Подход к оценке DLP-систем с использованием средств нечеткой логики. Инженерный вестник Дона. 2017. №. 4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_51_Ajdinyan_Tsvetkova.pdf_da25c0a203.pdf.

18. Файзрахманов Р.А., Полевщиков И.С. Автоматизированное управление формированием профессиональных навыков оператора роботизированной системы с использованием нечеткой логики. Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 38. №. 4-1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_12_Faizrahmanov.pdf_f113312e4c.pdf

19. Венцов Н.Н., Долгов В.В., Подколзина Л.А. Об одном способе построения запросов к базе данных на основе аппарата нечеткой логики. Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 37. №. 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_97_Ventsov.pdf_68cd2d2ffe.pdf

20. 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. V. 2. № 2. pp. 1–18.

21. Дроздов К.Д. Дефектоскопия зданий и сооружений с использованием экспертной системы. Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 1. С. 33–43.

22. Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л. Интеллектуальные технологии в обследовании строительных конструкций. Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 92–99.

23. Нигаматова О.И., Овчинников И.Г., Шварц А.Ю., Овчинников И.И. О разработке интеллектуальных систем проектирования и оценки технического состояния мостовых сооружений. Ч. 1. Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 10 - 30.

References

1. Skopinova Yu.S. Molodyozhny`j vestnik Novorossijskogo filiala Belgorodskogo gosudarstvennogo texnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuxova. 2021. V. 1. № 3. pp. 33–37.

2. Serenkov P.S., Gurevich V.L., Romanchik V.M., Yanushkevich A.V. Tekhnicheskoe normirovanie, standartizatsiya i sertifikatsiya v stroitelstve. 2012. № 4. pp. 34-37.

3. Tomilin A.V. Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten` (nauchno-texnicheskij zhurnal). 2013. № 11. pp. 114–117.

4. Sultanova E.A., Fazletdinova Z.I. Informacionny`e texnologii. Problemy` i resheniya: Materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Federal`noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya Ufimskij gosudarstvenny`j neftyanoj texnicheskij universitet. 2018. № 1. pp. 430–433.

5. Tonkov Yu.L. Matematicheskie modeli dlya identifikacii kategorii texnicheskogo sostoyaniya stroitel`ny`x konstrukcij na osnove nechetkoj logiki [Mathematical models for identifying the category of the technical condition of

construction structures based on fuzzy logic]. Dis. kand. texnich. nauk. Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politexniceskij universitet. 2018. 208 p.

6. Kashevarova G.G., Tonkov Yu.L., Tonkov I.L. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. V. 13. № 3. pp. 42–57.

7. Domnina A.O., Tonkov Yu.L. Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2017. V. 1. pp. 128–133.

8. Sultanova E.A., Fazletdinova Z.I. Informacionny'e tekhnologii. Problemy i resheniya: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ufmskij gosudarstvennyj neftyanoy texniceskij universitet. 2018. № 1. pp. 430–433.

9. Dzharratano D., Rajli G. E'kspertny'e sistemy: principy razrabotki i programmirovaniye [Expert systems: principles of development and programming]. 4-e izd. M. Izdatel'skij dom «Vil'yams». 2007. 1152 p.

10. Lezhenko A.I., Kuznecov I.A., Kuznecov S.K. Informacionny'e tekhnologii i vy'chislitel'ny'e sistemy. 2012. № 1. pp. 60–64.

11. Panchalingam R., Chan K.C. Intelligent Buildings International. 2021. V. 13. № 4. pp. 203–226.

12. Domnina A.O., Tonkov Yu.L. Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2018. V. 2. pp. 331–335.

13. Chuvakov A.V. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo texniceskogo universiteta. 2013. № 6 (100). pp. 124–127.

14. Jain A., Sharma A. Journal of Critical Reviews. 2020. V. 7. № 19. pp. 8717–8733.

15. Marani A., Nehdi M.L. Construction and Building Materials. 2020. V. 265. P. 120286.

16. Li Y.W., Cao K. Computer Communications. 2020. V. 153. pp. 382–389.



17. Ajdinyan A. R., Czvetkova O. L. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №. 4
URL:
ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_51_Ajdinyan_Tsvetkova.pdf_da25c0a203.pdf.
18. Fajzrahmanov R. A., Polevshnikov I. S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015.
№. 4-1. URL:
ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_12_Faizrahmanov.pdf_f113312e4c.pdf
19. Venczov N. N., Dolgov V. V., Podkolzina L. A. Inzhenernyj vestnik
Dona. 2015. №. 3. URL:
ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_97_Ventsov.pdf_68cd2d2ffe.pdf
20. Vilela M., Oluyemi G., Petrovski A. Decision Making: Applications in
Management and Engineering. 2019. V. 2. № 2. pp. 1–18.
21. Drozdov K.D. Sovremennyye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika.
2020. V. 1. pp. 33–43.
22. Kashevarova G.G., Tonkov Yu.L. Academia. Arxitektura i stroitel'stvo.
2018. № 1. pp. 92–99.
23. Nigmatova O.I., Ovchinnikov I.G., Shvarts A.Yu., Ovchinnikov I.I.
Transportny'e sooruzheniya. 2018. V. 5. № 1. P. 10.

Дата поступления: 8.07.2025

Дата публикации: 13.11.2025